

Linhas de Transmissão

19 a 22 de outubro de 2025

RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Marcos César de Araújo

Woong Jin Lee, Marcos César de Araújo, Muryllo Amalio de Souza

1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os ITs GLT-001 a GLT-005, reunidos no Bloco 1, relacionam-se, de modo direto ou indireto, ao tema dos eventos climáticos extremos e seus impactos sobre as linhas aéreas de transmissão. Tais eventos têm se tornado mais frequentes causando danos importantes nas LTs, requerendo atuação das equipes de manutenção em situações adversas e, por vezes, em locais de difícil acesso. Trata-se de um tema de muita relevância no contexto das mudanças climáticas que necessita de aprofundamento no conhecimento de suas causas e inovações que levem ao aumento da resiliência dos ativos de transmissão.

Os ITs GLT-006 a GLT-009, agrupados no Bloco 2, contemplam inovações tecnológicas na concepção de torres para LTs 500 kV de SIL elevado, como as torres CICA Cross-Rope e tipo Cálice, oferecendo diferentes filosofias de projeto para compactação da faixa de servidão, no caso da primeira, e para aplicação em LTs situadas em relevo com grande limitação para uso de torres estaiadas, no caso da segunda. Um dos ITs apresenta também um sistema de verificação da montagem de conexões das torres com uso de inteligência artificial, enquanto outro IT trata de testes virtuais de carregamento em torres de transmissão por meio de simulação computacional. São importantes inovações tecnológicas que demonstram a grande capacidade de evolução da capacidade criativa de soluções para novos empreendimentos.

Os ITs GLT-010 a GLT-013 (Bloco 3) apresentam diferentes aspectos inovadores em processos relacionados a algumas fases da implantação de linhas de transmissão, contemplando nova metodologia para projetos de aterramento com base na norma NBR 17140 publicada em 2024, distribuição de correntes de curto-circuito com abordagem também baseada na NBR 17140, instalação de esferas de sinalização com utilização de drone e metodologia multicritério para definição de diretriz otimizada de linhas de transmissão.

Os ITs GLT-014 a GLT-017 (Bloco 4) têm temas associados à ação da poluição ambiental e contaminação de isoladores, que exigem técnicas de avaliação do comprometimento do isolamento, bem como temas relativos a novas concepções de torres com mísulas isolantes e linhas de transmissão de baixo ruído. A ação da poluição ambiental é uma preocupação recorrente no isolamento das linhas de transmissão, sendo objeto de demanda da comunidade técnica por um mapa de poluição do território brasileiro. As torres com mísulas isolantes vêm tendo sua avaliação aprofundada em grupos de trabalho específicos e as linhas de transmissão

de baixo ruído representam uma opção para locais em que seja importante a minimização das interferências eletromagnéticas e do ruído audível. Os ITs GLT-018 a GLT-022 (Bloco 5) reúnem os temas referentes às linhas de transmissão com cabos isolados, sejam linhas subterrâneas ou subaquáticas. São abordados métodos não invasivos para detecção de falhas no preenchimento dos dutos com bentonita, bem como a ocupação do subsolo com diversas infraestruturas que apresenta grande desafio para a avaliação de rotas para as linhas subterrâneas, notadamente nos centros urbanos do Brasil. Especialmente, na região metropolitana de São Paulo, são relatados diversos desafios enfrentados durante a construção de uma linha subterrânea, não somente em relação à ocupação do subsolo, mas também com respeito às condições de solo instável, relevo acidentado e condições meteorológicas adversas. São ainda apresentadas estatísticas de falhas em linhas subterrâneas no Brasil e experiências na implantação de linhas subaquáticas. Os ITs GLT-023 a GLT-026 (Bloco 6) apresentam temas voltados à transformação digital e a utilização de inteligência artificial na inspeção e manutenção de linhas aéreas. Enfatizam-se a segurança obtida para as equipes de manutenção com a inspeção por meio de imagens coletadas com uso de drones, sem a necessidade de escalada das torres, e a adaptação ao novo método de trabalho envolvendo o processamento e organização das imagens e identificação de anomalias nas linhas de transmissão, associando-se também o emprego da inteligência artificial. Um dos ITs contempla ainda uma abordagem sobre o uso de tecnologias complementares na identificação das causas de desligamentos forçados de LTs provocados por fenômenos meteorológicos.

Os ITs GLT-027 a GLT-031 (Bloco 7) contemplam temas associados à gestão da vegetação nos corredores das linhas de transmissão, ao monitoramento de linhas situadas em regiões de atividade agrícola e à utilização da localização de faltas por ondas viajantes. A gestão da vegetação reveste-se de grande importância para minimizar faltas provocadas pela aproximação com os condutores ou por incêndios florestais utilizando-se métodos de inspeções de campo e tecnologias de monitoramento por imagens de satélite ou varredura a laser. O recurso a imagens de satélite é objeto também de experiência voltada ao monitoramento de atividades agrícolas com maquinário de grande porte em áreas próximas a torres de transmissão com risco de colisões e interrupção do suprimento de energia. Adicionalmente, são apresentadas tecnologias de inspeção de cabos condutores com imagens térmicas e localização de faltas por ondas viajantes.

Os ITs GLT-032 a GLT-035 (Bloco 8) abordam temas relacionados a fundações para torres de linhas de transmissão considerando situações que envolvem as estacas helicoidais, amplamente utilizadas em fundações atualmente, mas que oferecem desafios a serem superados para sua substituição em linha energizada ou que ainda requerem pesquisas sobre a corrosão dessas estacas. Há também abordagem de aplicação de fundação em bloco cilíndrico de concreto para estais de torres como alternativa a outras soluções e avaliação do impacto das mudanças climáticas no dimensionamento das fundações.

Os ITs GLT-036 a GLT-039 (Bloco 9) contemplam análises comparativas dos parâmetros de projeto estabelecidos na norma ABNT NBR 5422:2024 em relação à versão dessa norma editada em 1985 avaliando diferenças relevantes que precisam ser consideradas ao se aplicar a versão atual.

2.0 - Classificação dos Informes Técnicos

Os ITs GLT-001 a GLT-005, reunidos no Bloco 1, relacionam-se, de modo direto ou indireto, ao tema dos eventos climáticos extremos e seus impactos sobre as linhas aéreas de transmissão. Tais eventos têm se tornado mais frequentes causando danos importantes nas LTs, requerendo atuação das equipes de manutenção em situações adversas e, por vezes, em locais de difícil acesso. Trata-se de um tema de muita relevância no contexto das mudanças climáticas que necessita de aprofundamento no conhecimento de suas causas e inovações que levem ao aumento da resiliência dos ativos de transmissão.

Os ITs GLT-006 a GLT-009, agrupados no Bloco 2, contemplam inovações tecnológicas na concepção de torres para LTs 500 kV de SIL elevado, como as torres CICA Cross-Rope e tipo Cálice, oferecendo diferentes filosofias de projeto para compactação da faixa de servidão, no caso da primeira, e para aplicação em LTs situadas em relevo com grande limitação para uso de torres estaiadas, no caso da segunda. Um dos ITs apresenta também um sistema de verificação da montagem de conexões das torres com uso de inteligência artificial, enquanto outro IT trata de testes virtuais de carregamento em torres de transmissão por meio de simulação computacional. São importantes inovações tecnológicas que demonstram a grande capacidade de evolução da capacidade criativa de soluções para novos empreendimentos.

Os ITs GLT-010 a GLT-013 (Bloco 3) apresentam diferentes aspectos inovadores em processos relacionados a algumas fases da implantação de linhas de transmissão, contemplando nova metodologia para projetos de aterramento com base na norma NBR 17140 publicada em 2024, distribuição de correntes de curto-circuito com abordagem também baseada na NBR 17140, instalação de esferas de sinalização com utilização de drone e metodologia multicritério para definição de diretriz otimizada de linhas de transmissão.

Os ITs GLT-014 a GLT-017 (Bloco 4) têm temas associados à ação da poluição ambiental e contaminação de isoladores, que exigem técnicas de avaliação do comprometimento do isolamento, bem como temas relativos a novas concepções de torres com mísulas isolantes e linhas de transmissão de baixo ruído. A ação da poluição ambiental é uma preocupação recorrente no isolamento das linhas de transmissão, sendo objeto de demanda da comunidade técnica por um mapa de poluição do território brasileiro. As torres com mísulas isolantes vêm tendo sua avaliação aprofundada em grupos de trabalho específicos e as linhas de transmissão de baixo ruído representam uma opção para locais em que seja importante a minimização das interferências eletromagnéticas e do ruído audível.

Os ITs GLT-018 a GLT-022 (Bloco 5) reúnem os temas referentes às linhas de transmissão com cabos isolados, sejam linhas subterrâneas ou subaquáticas. São abordados métodos não invasivos para detecção de falhas no preenchimento dos dutos com bentonita, bem como a ocupação do subsolo com diversas infraestruturas que apresenta grande desafio para a avaliação de rotas para as linhas subterrâneas, notadamente nos centros urbanos do Brasil. Especialmente, na região metropolitana de São Paulo, são relatados diversos desafios enfrentados durante a construção de uma linha subterrânea, não somente em relação à ocupação do subsolo, mas também com respeito às condições de solo instável, relevo acidentado e condições meteorológicas adversas. São ainda apresentadas estatísticas de falhas em linhas subterrâneas no Brasil e experiências na implantação de linhas subaquáticas.

Os ITs GLT-023 a GLT-026 (Bloco 6) apresentam temas voltados à transformação digital e a utilização de inteligência artificial na inspeção e manutenção de linhas

aéreas. Enfatizam-se a segurança obtida para as equipes de manutenção com a inspeção por meio de imagens coletadas com uso de drones, sem a necessidade de escalada das torres, e a adaptação ao novo método de trabalho envolvendo o processamento e organização das imagens e identificação de anomalias nas linhas de transmissão, associando-se também o emprego da inteligência artificial. Um dos ITs contempla ainda uma abordagem sobre o uso de tecnologias complementares na identificação das causas de desligamentos forçados de LTs provocados por fenômenos meteorológicos.

Os ITs GLT-027 a GLT-031 (Bloco 7) contemplam temas associados à gestão da vegetação nos corredores das linhas de transmissão, ao monitoramento de linhas situadas em regiões de atividade agrícola e à utilização da localização de faltas por ondas viajantes. A gestão da vegetação reveste-se de grande importância para minimizar faltas provocadas pela aproximação com os condutores ou por incêndios florestais utilizando-se métodos de inspeções de campo e tecnologias de monitoramento por imagens de satélite ou varredura a laser. O recurso a imagens de satélite é objeto também de experiência voltada ao monitoramento de atividades agrícolas com maquinário de grande porte em áreas próximas a torres de transmissão com risco de colisões e interrupção do suprimento de energia. Adicionalmente, são apresentadas tecnologias de inspeção de cabos condutores com imagens térmicas e localização de faltas por ondas viajantes.

Os ITs GLT-032 a GLT-035 (Bloco 8) abordam temas relacionados a fundações para torres de linhas de transmissão considerando situações que envolvem as estacas helicoidais, amplamente utilizadas em fundações atualmente, mas que oferecem desafios a serem superados para sua substituição em linha energizada ou que ainda requerem pesquisas sobre a corrosão dessas estacas. Há também abordagem de aplicação de fundação em bloco cilíndrico de concreto para estais de torres como alternativa a outras soluções e avaliação do impacto das mudanças climáticas no dimensionamento das fundações.

Os ITs GLT-036 a GLT-039 (Bloco 9) contemplam análises comparativas dos parâmetros de projeto estabelecidos na norma ABNT NBR 5422:2024 em relação à versão dessa norma editada em 1985 avaliando diferenças relevantes que precisam ser consideradas ao se aplicar a versão atual.

2.1 - Novas concepções e tecnologias para LTs CA e/ou CC e seus componentes - 6

2.2 - Aspectos ambientais, de saúde e segurança ocupacional e da população - 3

2.3 - Uso e ocupação das faixas de passagem de LTs - 3

2.4 - Aspectos de segurança, confiabilidade e disponibilidade das LTs - 6

2.5 - Estudos de desempenho de LTs e seus componentes - 6

2.6 - Aplicação de tecnologias não convencionais ou complementares em LTs - 8

2.7 - Digitalização dos ativos e seus processos de operação e manutenção de linhas de transmissão - 2

2.8 - Mudanças climáticas e seus impactos no projeto, operação e manutenção das linhas de transmissão aéreas - 5

- A experiência da CPFL Transmissão na recomposição de linhas de transmissão durante as enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul

- Colapso de Estruturas Metálicas na CPFL Transmissão – uma Análise Estatística
- Caracterização de faltas em linhas de transmissão com dados do INMET e ERA5
- Deslizamento de Encostas em LTs - A experiência da Eletrobras CGT Eletrosul frente às chuvas no RS em 2024
- Impacto das Mudanças Climáticas nas Fundações de Torres de Transmissão de Energia: Análise do Aumento das Velocidades de Vento
- Transformação digital para otimização do processo de inspeção de linhas de transmissão
- GESTÃO DA VEGETAÇÃO EM FAIXAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO IMAGENS 3D DE ALTA DEFINIÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
- Desafios e Inovações na Implementação de Linhas de Transmissão Subterrâneas de Alta Tensão na Região Metropolitana de São Paulo
- Estudo de Caso de Fundação Enterrada em Bloco Cilíndrico para Linhas de Transmissão
- METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE UMA DIRETRIZ OTIMIZADA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA
- Uso de Imagens Térmicas para a Detecção de Anomalias em Cabos Condutores de Linhas de Transmissão
- Comparação entre Inteligência Artificial e Planejamento Empírico para Manutenção de Linhas de Transmissão
- Método não invasivo para avaliação e detecção de falhas no preenchimento de bentonita em dutos de cabos de alta tensão durante a execução do projeto
- IA Aplicada na Inspeção em Linhas de Transmissão
- Drone para Instalação de Esferas de Sinalização – P&D Aneel Cemig
- Projeto dos aterramentos das torres das linhas de transmissão Santos Dumont 2– Leopoldina 2 C1 e Leopoldina 2 -Lagos C1 345 kV
- Aplicação de técnica de inspeção noturna para evidenciação de poluição ambiental sobre uma LT do SIN
- Distribuição de Correntes de Curto-Circuito em Linhas de Transmissão: Uma Abordagem com ATPDraw para a atual NBR 17140/2023
- ESTATÍSTICAS DE FALHAS DE LINHAS SUBTERRÂNEAS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL
- A corrosão da fundação do tipo estaca helicoidais em aço patinável: mitos e verdades
- CÁLCULOS DE VENTOS DE PROJETO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - REGIONALIZAÇÃO DOS VENTOS DE PROJETO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DA NOVA NORMA NBR-5422
- Experiência na Implantação de Linhas de Transmissão Subaquáticas Desafios e Soluções
- Resultados técnicos e econômicos da utilização da localização de faltas por ondas viajantes na linha de transmissão SMA3-SAG2 C1 de 230 kV
- ANÁLISE DE RISCOS E CRITÉRIOS ADOTADOS NA UTILIZAÇÃO DE TORRES DE EMERGÊNCIA PARA RESTABELECIMENTO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO
- Modelagem Semi-Analítica e Numérica para Avaliação de Downbursts em Linhas de Transmissão
- Testes de Carga Virtuais para Torres de Transmissão Através de Simulação Computacional
- Análise Comparativa da NBR 5422:1985 e NBR 5422:2024: Impactos das Atualizações Metodológicas na Ampacidade de Linhas de Transmissão

- Sistema de Gestão da Vegetação (SGV) Eletrobras
- EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS NA OCUPAÇÃO DO SUBSOLO PARA IMPLANTAÇÃO DE LINHAS SUBTERRÂNEAS EM GRANDES CENTROS URBANOS.
- Sistema de Monitoramento de Risco para Ativos de Transmissão em áreas de atividade agrícola.
- Sistema de IA para Verificação de Montagem de Conexões e Comparação de Nuvem de Pontos em Torres de Transmissão
- A nova norma ABNT NBR 5422: dimensionamento de distâncias de isolamento e de segurança
- Aplicação de otimização de feixes para concepções de linhas de transmissão de baixo ruído
- Disrupções tecnológicas em projetos de linhas de transmissão devido ao uso de mísulas isolantes.
- Desafios na implantação de substituição de fundações em estaca helicoidal dos estais de torre tipo cross rope da LT energizada de 500kV Gilbués II – São João do Piauí II
- DESENVOLVIMENTO DE TORRE AUTOPORTANTE TIPO CÁLICE PARA A LT 500 kV C.S. JOÃO NEIVA 2 / VIANA 2 C1
- Comparação das distâncias de segurança calculadas pela NBR 5422 nas versões de 1985 e 2024 e avaliação de seus impactos.
- METODOLOGIA, MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO EM ISOLADORES DE LINHA DE CORRENTE CONTÍNUA COLETADA EM LINHA ENERGIZADA
- Torre CICA Cross-Rope: Nova Solução para LTs de SIL Elevado com Faixa de servidão Compacta para Reduzir Impactos Socioambientais

3.0 - Relatório sobre os Informes Técnicos

Título - Disrupções tecnológicas em projetos de linhas de transmissão devido ao uso de mísulas isolantes.

Entidade(s) - CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL

Autor(es) - Roberto Paulo da Silva Pinto Junior, Carlos Kleber da Costa Arruda

Resumo

Este informe técnico apresenta como o uso de mísulas isolantes em linhas de transmissão irá impactar em alterações de projetos já consolidados há décadas, fazendo com que diversas variáveis sofram alterações abruptas, exigindo adaptações de mercado e novas considerações para os empreendimentos. As particularidades do mercado brasileiro são demonstradas, bem como suas características afetadas, de modo que se possa determinar as situações em que se encontrará vantagem no uso desta tecnologia e em qual grau. São apresentados casos reais de análises, onde as características e benefícios podem ser mensurados tanto para novas linhas de transmissão quanto para repotencialização de linhas existentes. São feitas comparações entre sistemas equivalentes que utilizem e que não utilizem mísulas isolantes.

Diversos aspectos inéditos e contraintuitivos são revelados, incluindo os abordados no P&D ANEEL PD-00394-2113/2021 sobre o tema, que se encontra em curso.

Vantagens no aspecto ambiental também são demonstradas, uma vez que o uso de torres com mísulas isolantes será a solução definitiva para implantação de linhas de transmissão, ou substituição de parte de torres existentes, em regiões que apresentam problemas com excremento do pássaro Curicaca, devido ao fato do meio isolante estar na posição horizontal.

Perguntas e Respostas

Os autores mencionam diversas vantagens da adoção das mísulas isoladas. Os autores realizaram estudos específicos em relação aos custos globais para a adoção dessa tecnologia ante as torres convencionais? A Adaptação de torres antigas é viável do ponto de vista técnico?

Do ponto de vista da manutenção, a adoção de mísulas isoladas demandariam alterações significativas nos procedimentos de manutenção corretiva e preventiva? Quais os possíveis impactos no tempo de atendimento de contingências envolvendo torres com mísulas isoladas?

Com certeza as torres com mísulas isolantes terão procedimentos de manutenção bem diferentes do que as torres tradicionais. O projeto das torres com mísulas isolantes visa evitar ao máximo a necessidade de manutenção e até tentar fazer com que ela não seja necessária durante a sua vida útil, porém, sabemos que algum dia essa manutenção será necessária, de certo que este tipo de torre necessitará de menos manutenção que as torres atuais. Para os projetos no Brasil, está sendo idealizado um procedimento para, inclusive, se necessário, fazer esta manutenção em linha viva, permitindo que operadores sumam nas torres e com equipamentos adequados ancorem os cabos e troquem as mísulas parte por parte, há também a possibilidade de uma intervenção externa na torre com um guindaste, realizando um procedimento similar aos da implantação de torres de emergência, para substituição de mísulas. Quanto ao tempo de manutenção, também se acredita que as manutenções citadas sejam efetuadas em menor tempo do que as manutenções nas torres tradicionais.

Existe algum estudo sobre o comportamento das MIC em ambiente agressivo como, por exemplo, salino ?

Na prática, as mísulas isolantes são constituídas de isoladores poliméricos, então os estudos de comportamento de isoladores poliméricos em ambiente agressivo, salino e ainda sobre outros agentes poluentes são todos válidos para as torres MIC. Essa vasta literatura existente foi verificada para que o projeto das mísulas isolantes também suportem a estes agentes sempre que necessário.

Sobre as considerações ambientais, os autores poderiam apresentar maiores esclarecimentos em relação a se ter menor necessidade de licenciamento e se evitar áreas sensíveis com o uso de torres com mísulas isolantes? Para se evitar áreas sensíveis, não seria o caso de se pesquisar alternativas de traçado, o que se aplica também às LTs com torres com mísulas metálicas?

Foi analisada a possibilidade de re-isolamento de uma LT com elevação do nível de tensão? Quais seriam as vantagens do uso de mísulas isolantes?

Tecnicamente, alterar o nível de tensão de uma linha de transmissão através de torres MIC é totalmente viável, inclusive há experiências efetivas dessa realização em outros países. Ao trocar as mísulas convencionais por mísulas isolantes, é possível aumentar as distâncias fase-terra e fase-fase na mesma torre, permitindo esta alteração de tensão, mantendo os mesmos corpos das torres originais, sem a necessidade de construir outra linha e assim aumentando a potência da LT. Também é possível a repotencialização de uma LT existente alterando as mísulas existentes metálicas por mísulas isolantes, mantendo ainda o mesmo nível de tensão, isso também já foi feito no exterior, esse caso é recomendado nos casos onde é possível transmitir mais potência pelo cabo, mas não se pode alterar a distância cabo-solo. Ao se alterar a mísula para isolantes o cabo sobe a altura de uma cadeia de suspensão e a limitação cabo-solo acaba. Há diversas linhas no Brasil que poderiam ser repotencializadas através deste método.

Título - Desafios na implantação de substituição de fundações em estaca helicoidal dos estais de torre tipo cross rope da LT energizada de 500kV Gilbués II – São João do Piauí II

Entidade(s) - Transmissora Aliança de Energia Elétrica S.A, Tecnitork Engenharia Ltda, Incotep Ind e Com de Tubos Esp de Precisão Ltda

Autor(es) - José André de Oliveira, ALFREDO RUBEN ALARCON, CRYSTHIAN PURCINO BERNARDES AZEVEDO, Daniel Canova Renosto, Fernando Cezar Do Nascimento Augusto, Luis Felipe Guajardo Semensato, Marcelo Starling, Marcos A

Resumo

Este artigo apresenta os desafios enfrentados e as soluções inovadoras implementadas na substituição de fundações em estacas helicoidais das torres de transmissão de energia elétrica do tipo cross rope da LT 500kV Gilbués II – São João do Piauí II, com o ativo energizado e em plena operação. As análises realizadas incluíram investigações geotécnicas e estruturais, levando ao desenvolvimento de soluções pioneiras que permitiram a execução das intervenções sem interromper o fornecimento de energia. O estudo envolveu medições de campo, análises de engenharia e a aplicação de dispositivos mecânicos para transferência de carga, servindo como referência para futuras intervenções em instalações energizadas deste porte?

Perguntas e Respostas

Os autores consideraram utilizar outro tipo de fundação, ou reforço das existentes, para substituição das fundações existentes? Quais os critérios que determinaram a utilização de estacas helicoidais novamente?

Sim, durante o desenvolvimento da solução para substituição das fundações dos estais das torres tipo cross-rope, foram avaliadas diversas alternativas técnicas. A decisão de manter o uso de estacas helicoidais foi fundamentada em critérios multidisciplinares, que incluíram a viabilidade de execução com a linha energizada, a relação custo-benefício frente ao prazo de intervenção, a compatibilidade com as características geotécnicas locais (mesmo diante da possibilidade da presença de solos colapsáveis (confirmado ao longo dos ensaios geotécnicos)) e aspectos contratuais vinculados ao processo de Due Diligence. A escolha também considerou a agilidade na execução e a possibilidade de reaproveitamento da infraestrutura

existente. Essa abordagem permitiu otimizar recursos, potencializar a segurança executiva das intervenções, reduzir riscos operacionais e garantir a continuidade do fornecimento de energia durante as intervenções.

Após a substituição das fundações em estaca, os autores consideram elaborar um plano de acompanhamento do comportamento, como por exemplo medições de deslocamento?

Houve alguma anormalidade durante a execução? Caso positivo, como foi solucionado?

Quais foram as medidas planejadas para o caso de ocorrência de algum imprevisto, tendo em vista a instabilidade provocada pelos deslocamentos constatados nas estacas helicoidais? O treinamento das equipes contemplou essa possibilidade?

As medidas planejadas para mitigar riscos decorrentes da instabilidade das fundações foram integradas ao Plano de Trabalho Seguro (PTS) e às Análises Preliminares de Riscos (APR), contemplando cenários de contingência específicos para linhas de transmissão energizadas. Em caso de ocorrência de imprevistos, seria acionado o plano de contingência da TAESA, ao qual previamente todas as equipes de manutenção de LT são certificados e treinados. Além disso, foram adotadas ações preventivas robustas, como inspeções visuais e instrumentadas, medições sistemáticas de deslocamentos, monitoramento climático contínuo e instalação antecipada de fundações backup em estruturas com deslocamentos críticos ou arrancamentos. A classificação de risco das fundações, com categorização em níveis de gravidade, permitiu priorizar intervenções e reduzir significativamente a probabilidade de falhas durante a execução.

Face à flexibilidade das torres do tipo cross-rope, foram constatados comprometimentos das distâncias de segurança que eventualmente exigiram procedimentos específicos para escalada das torres?

Durante as atividades de campo e análise técnica, não foram identificados comprometimentos nas distâncias de segurança que exigissem a adoção de procedimentos específicos para escalada das torres tipo cross-rope. Embora essas estruturas apresentem elevada flexibilidade e comportamento dinâmico diferenciado, especialmente sob ações permanentes nos estais, os protocolos operacionais existentes mostraram-se adequados para garantir a segurança dos trabalhadores.

Título - DESENVOLVIMENTO DE TORRE AUTOPORTANTE TIPO CÁLICE PARA A LT 500 kV C.S. JOÃO NEIVA 2 / VIANA 2 C1

Entidade(s) - CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, ENGETOWER ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA

Autor(es) - Filipe Guerra Soares, RENATO THALES MANSUR, João Vitor Mendes Gomes, Gabriela de Souza Rodrigues, Fernanda Ayumi Arai, Sírío José Ferreira, Henrique Vieira Gonçalves Felipe, Patrick Wallace Rodrigues Venuto.

Resumo

O Informe Técnico apresenta as etapas de concepção, desenvolvimento e execução do projeto inédito da torre autoportante tipo Cálice a ser implantado na Linha de Transmissão 500 kV Circuito Simples João Neiva 2 / Viana 2 C1, concessão vencida pela ISA Energia no Lote 3 do leilão ANEEL 001/2022. O projeto surgiu como solução às limitações das torres estaiadas tipo Cross-rope que, embora eficientes dos pontos de vista elétrico e de peso, requerem uma grande área para instalação dos estais.

A utilização de apenas 12.2% de estruturas estaiadas na plotação comprometeu fortemente o desempenho da LT em relação ao SIL (Surge Impedance Loading) exigido pelo edital da ANEEL, sendo então necessária a utilização de 21.3% de torres tipo Cálice para a obtenção do SIL mínimo de 1510 MW.

A concepção da estrutura teve como premissa uma configuração elétrica idêntica à da torre Cross-rope, atingindo o SIL característico de 1679 MW. Devido às grandes dimensões exigidas para atendimento aos critérios elétricos, com envergadura total de 33.8 m, toda a geometria da estrutura foi cuidadosamente estudada não só do ponto de vista estrutural, mas também em conjunto com as equipes de obra.

O projeto da torre foi desenvolvido com tecnologia BIM desde o cálculo estrutural, passando pela modelagem tridimensional em software próprio até o fornecimento dos arquivos CAM de input para a fábrica. Foi executado teste de carga em protótipo em escala real com comportamento plenamente satisfatório, garantindo a confiabilidade desejada ao projeto.

O Informe Técnico apresenta cada um dos pontos citados anteriormente, detalhando o desafio de Engenharia no desenvolvimento de um projeto inédito com o objetivo de solucionar a construção de linhas de SIL elevado em terrenos que inviabilizem a larga utilização de torres cross-rope.

Perguntas e Respostas

Dado que o desenvolvimento da torre autoportante tipo cálice destinava-se à sua aplicação na LT João Neiva2 / Viana 2, os autores avaliaram se a aplicação em outros projetos resultaria em extensa adaptação do modelo desenvolvido, como por exemplo em regiões terreno e velocidade de vento distintos daqueles avaliados inicialmente?

A velocidade de vento não é fator limitante para o projeto da torre Cálice, sendo que seu peso final será maior ou menor diretamente proporcional ao nível de vento da região. O fator determinante para utilização da torre Cálice é a dificuldade imposta pelo terreno atravessado pela LT: desníveis acentuados inviabilizam a utilização das torres cross-rope, únicas com a configuração elétrica que atinge a potência natural exigida, porém ocupando uma área muito grande para instalação. Dessa forma sempre que for necessária uma LT cuja torre típica é a cross-rope atravessando terrenos extremamente acidentados, como o da LT João Neiva 2 / Viana 2 C1, a torre Cálice é a solução estrutural que viabiliza a implantação da linha com a potência natural mínima exigida.

A aplicação da torre autoportante tipo cálice pode ser considerada, com as devidas adaptações, para níveis de tensão diferentes de 500 kV ou esse tipo de torre não é adequada para esses casos?

Houve surpresas (positiva ou negativa) durante o desenvolvimento do projeto desta torre tipo cálice?

Sim. Durante a pré-montagem da estrutura na estação de testes observou-se que a posição da fixação dos cabos párraios originalmente detalhada não possibilitaria a instalação da roldana para lançamento dos cabos. Foi então feita uma alteração na geometria da estrutura, aumentando a envergadura do ponto de ataque dos cabos de modo a manter distâncias razoáveis para as operações de lançamento / grampeamento. Uma surpresa positiva foi também o fato de não terem sido observadas não conformidades de fabricação durante a pré-montagem da torre para o teste de carga, tratando-se de um modelo estrutural inédito com mais de mil peças, o que agilizou significativamente seu processo de aprovação. A montagem precisa de todas as peças propicia um melhor comportamento estrutural e não foram observadas falhas no teste de carga na cabeça da estrutura, modelo estrutural testado pela primeira vez. Por fim, a montagem em campo sem intercorrências tanto de forma mecanizada quanto manual seguindo os procedimentos adotados na concepção da estrutura confirmaram o sucesso integral do projeto.

Os autores poderiam esclarecer o motivo de se manter o cabo cross-robe para sustentação das cadeias de isoladores e fases na torre tipo cálice? Haveria a possibilidade de instalação das cadeias diretamente na viga superior?

O cabo cross-robe é um elemento estrutural extremamente leve que, apenas tracionado, transmite os esforços transversais, verticais e longitudinais devidos ao vento e peso dos cabos diretamente para a torre, sobrando para a viga de fechamento apenas o desequilíbrio de cargas horizontais entre as extremidades do cabo. Caso as cadeias de sustentação dos cabos condutores fossem fixadas diretamente na viga superior, os mesmos esforços devidos aos cabos deveriam ser transmitidos para a torre através dela, resultando em um dimensionamento significativamente mais pesado.

Título - Comparação das distâncias de segurança calculadas pela NBR 5422 nas versões de 1985 e 2024 e avaliação de seus impactos.

Entidade(s) - CONNECT SISTEMAS DE ENERGIA LTDA

Autor(es) - Nilson Lucas de Lima Neto, Leonardo Araújo de Oliveira, Pedro Henrique Cintra Silva, Thalles Augusto Machado dos Santos

Resumo

Este estudo analisará, no que diz respeito a distâncias de segurança em linhas de transmissão, as principais mudanças introduzidas na atualização da norma brasileira NBR 5422, a qual foi revisada no ano de 2024. A pesquisa comparará os métodos de cálculo das distâncias verticais e horizontais entre cabos condutores e obstáculos, considerando tanto a versão anterior da norma, de 1985, quanto a atualizada, além de serem comparadas a faixa de segurança pelos parâmetros estabelecidos em ambas. Serão abordadas as novas classificações de regimes operacionais dos condutores, os parâmetros relacionados às condições térmicas e atmosféricas, e as implicações dessas alterações no cálculo da faixa de segurança. Os resultados deste artigo demonstram um aumento geral nas exigências de afastamento entre linhas energizadas de alta tensão e obstáculos atravessados por elas.

Perguntas e Respostas

Como forma de ajudar os leitores desse IT, os autores poderiam compartilhar os dados mais específicos de parâmetros ambientais (como velocidade de vento, temperatura ambiente, etc.), coordenadas e demais informações utilizado dos para a realização dos cálculos apresentados? Alguns parâmetros e coeficientes, bem como seus critérios de escolha, podem ser essenciais para entendimento mais profundo das conclusões apresentadas.

Diante do incremento das distâncias verticais entre diferentes LT demandada pela nova versão da norma 5422 há, por consequência, necessidade de estruturas com maior altura e fundações de maior capacidade. Os autores concordam com essa conclusão? Os autores realizaram estudos, ou tem experiência, sobre o impacto das novas distâncias no custo de novos projetos? Em nossos estudos sobre os impactos das novas distâncias para LTs em projeto não consideramos que houve aumento expressivo nas distâncias verticais para obstáculos diversos. No entanto, verificamos que as distâncias verticais entre LTs teve aumento considerável, ao ponto de ser necessário ajuste na locação ou aplicação de estruturas maiores, refletindo no aumento do peso da LT. Quanto às fundações, entendemos que esse impacto é mais remoto, visto que muitos projetos já consideram os esforços nas fundações para a maior altura da estrutura.

Para LDs, quando utilizados postes de concreto, o aumento nas distâncias entre cabos pode refletir na necessidade da criação de postes maiores, uma vez que a quantidade de alturas normalmente é reduzida. Lembrando que em postes, além do aumento da altura útil, deve-se considerar o acréscimo no engastamento, o que pode levar a um maior volume de concreto e armadura em suas fundações. Já em nossas verificações de impacto em linhas existentes, no caso de recondutoramento, muitas vezes surge a necessidade da implantação de estruturas para viabilizar o atendimento às novas distâncias verticais entre cabos.

Os autores podem comentar mais especificamente sobre o impacto das novas distâncias entre linhas e largura de faixa para projetos em regiões urbanas? Dada as maiores distâncias agora necessárias versus menor espaço físico disponível nesse ambiente, os autores entendem que há necessidade de adequações de projeto e ou adoção de coeficientes diferenciados para esses casos?

Em regiões urbanas são mais comuns as linhas de distribuição em alta tensão. Para essas LDs as distâncias entre cabos (para-raios ou fases) aumentaram. Dessa forma, no caso do projeto, seria necessário reavaliar a posição das estruturas e a aplicação de estruturas maiores, no caso de travessia sobre linha existente. No caso de travessia sob linha existente, pode ser inviabilizado o ponto de travessia, ao tentar atender a distância mínima cabo-solo e a distância para a linha atravessada. Para a faixa de segurança, o aumento da largura, para um mesmo período de retorno do vento, não foi expressivo, o que não impactou consideravelmente linhas de classe de tensão maior ou igual a 230 kV, visto que essas já deviam atender ao Submódulo 2.7 dos Procedimentos de Rede do ONS, que já exigia período de retorno de 50 anos para o cálculo da faixa de segurança. A necessidade de se adotar período de retorno de 50 anos irá impactar, sobretudo, distribuidoras que ainda adotavam períodos de retorno menores para suas linhas de distribuição em alta tensão (LDATs), baseando-se na versão antiga que exigia período de retorno mínimo de 10 anos.

Considerando os aumentos nas distâncias de segurança relativas ao estudo de caso apresentado, qual seria o impacto no peso das estruturas também admitindo-se características ideais de uma LT 500 kV?

Tendo em vista que linhas implantadas em trechos urbanos são normalmente de tensões de 69 e 138 kV, com vãos mais curtos e cadeias de isoladores menores, em que medida o aumento na distância de segurança para paredes de edificações torna-se um dificultador para esses casos?

O dificultador para estes casos é que antes a distância adotada para paredes cegas era menor e considerada radialmente à projeção do condutor em balanço, e agora a distância deve ser verificada horizontalmente ao condutor em balanço, o que torna a verificação mais criteriosa. Essa alteração pode dificultar e até inviabilizar a passagem de linhas em áreas edificadas. Também pode ser necessário o uso de condutores especiais com menores flechas e conseqüentemente menor faixa de segurança em casos de intervenção em linhas existentes, como em recondutoramentos, por exemplo.

Nesta comparação das duas versões, houve algum resultado que causou surpresa ?

Título - METODOLOGIA, MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO DA CONTAMINAÇÃO EM ISOLADORES DE LINHA DE CORRENTE CONTÍNUA COLETADA EM LINHA ENERGIZADA

Entidade(s) - AINIGRI Consultoria de Engenharia, SEDIVER ISOLADORES LTDA, BELO MONTE TRANSMISSORA DE ENERGIA SPE S.A.

Autor(es) - Armando Isaac Nigri, LUIZ FERNANDO PINTAS FERREIRA, Clerisson Marcos da Paz Oliveira

Resumo

A metodologia tradicional de coleta de poluentes depositados na superfície dos isoladores é através da retirada de operação da cadeia. Esta atividade pode ser realizada tanto com as instalações energizadas quanto desenergizadas.

O trabalho introduz uma metodologia, não convencional de atividade em linha energizada, que permite o acesso do eletricitista ao longo de toda a cadeia. Desta forma é possível determinar o nível de poluição da região através da coleta de poluentes em qualquer isolador da cadeia sem sua remoção e sem o desligamento da linha de transmissão.

O documento IEC/TS 60815-1 [1] indica no anexo C item C3.3, que seja adotado para sistemas de CC o procedimento de verificação do ESDD e NSDD.

A prática de coleta de poluição em uma cadeia de isoladores tipo disco instalada em CA tem se restringido à coleta nos isoladores das extremidades e do meio da cadeia, mostrando bons resultados na avaliação da severidade. Neste trabalho, identificamos que, para aplicações em CC, é necessário coletar amostras de um maior número de isoladores ao longo da cadeia.

Está apresentada a distância mínima de segurança para trabalhar, neste tipo de

atividade, com total segurança, bem como as diversas metodologias de acesso, para retirada de amostras, em cada uma das regiões das cadeias de isoladores.

Perguntas e Respostas

Os autores realizaram estudos comparativos entre a metodologia descrita no IT e outros métodos de avaliação de contaminação (como por exemplo, observação de corona)? Foram identificadas relações entre os diferentes métodos, de modo a estabelecer um procedimento de avaliação preditiva?

No momento não foram realizadas outras metodologias de avaliação. A ideia inicial foi desenvolver uma metodologia de coleta e de avaliar como é a distribuição da poluição ao longo da cadeia além da influência do campo presente. Na próxima etapa seria feita a comparação de inspeção visual noturna com os valores medidos

Considerando que a deposição de contaminantes sobre os isoladores sofre incremento ao longo do tempo, é razoável inferir que os dados obtidos se referem à quantidade total de contaminação depositada desde a energização da LT CC? Como isso afeta a análise realizada sobre a quantidade de isoladores? A lavagem de isoladores seria uma alternativa para manter q quantidade de isoladores em número reduzido?

Os dados obtidos são desde a energização e como foram após mais de dois períodos de depósito e lavagem natural pela chuva, os valores obtidos representam o nível de poluição da região.

A lavagem seria uma alternativa entretanto, diferentemente dos sistemas de corrente alternada, ainda não existe uma metodologia de lavagem desenvolvida para corrente contínua.

As condições ambientais do local de instalação da torre foram compatíveis com os dados coletados, ou os autores puderam observar inconsistências entre as características locais e dados medidos?

Os autores podem apresentar considerações sobre resultados tão diferentes para a quantidade de isoladores necessária segundo os critérios de avaliação do isolamento quanto ao nível de poluição medido?

Como entender o fato de o nível de poluição medido requerer uma quantidade de isoladores significativamente maior sem que tenha havido desligamentos causados por poluição?

Essa pergunta é exatamente o que estamos querendo saber. O documento IEC 60815-4 que indica a quantidade de isoladores parece ser muito conservadora.

Acreditamos que realizando mais medições poderemos ter uma definição mais precisa do número de isoladores necessários.

Título - Torre CICA Cross-Rope: Nova Solução para LTs de SIL Elevado com Faixa de servidão Compacta para Reduzir Impactos Socioambientais

Entidade(s) - Shemar Latam Holding Ltda, Elektro Operação e Manutenção, CONSAG Engenharia SA, Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

Autor(es) - Pedro Henrique Soares Vilela, RODRIGO LOPES NUNES DA SILVA, Mariana Rechtman, Helber Felipe de Oliveira, Fábio Henrique de Lima Andrade, FRANCISCO EDUARDO RODRIGUES DE ARAUJO

Resumo

O crescimento da necessidade de implantação de Linhas de Transmissão (LTs) com capacidade de potência natural elevada no Brasil, decorrente do aumento da demanda energética e da expansão estratégica do Sistema Interligado Nacional (SIN), exige o desenvolvimento de soluções inovadoras e que garantam a confiabilidade necessária, assim como a redução de perdas e otimização das infraestruturas existentes. Nesse contexto, este trabalho apresenta os estudos realizados para a implementação da solução elaborada para atender ao SIL mínimo de 1510 MW exigido no edital do leilão nº 01/2022 da ANEEL para as LTs 500 kV: Paracatu 4 - Nova Ponte 3 C1 e C2 e Nova Ponte 3 - Araraquara 2 C1 e C2. Essas linhas de transmissão apresentam um aumento de 60% na capacidade de transmissão em comparação a uma LT de 500 kV convencional. A principal inovação implantada consiste na aplicação das torres CICA Cross-Rope, as quais empregam isoladores poliméricos para suspensão das fases. Tal solução foi alcançada através da aplicação de uma metodologia de otimização global, que considera além da aplicação das normas vigentes e atuais práticas de projeto, a solução com maior eficiência técnica e ambiental. Para a validação do modelo teórico de projeto, foram realizados ensaios no arranjo isolado compacto das fases na configuração geométrica inovadora das cadeias assim como na estrutura da torre. Ensaios elétricos, como Riv/Corona e arco de potência, comprovaram a segurança e confiabilidade da solução adotada. Além disso, testes mecânicos validaram a resistência estrutural das torres. A interação entre projetistas, fabricantes, laboratórios e construtores sob coordenação estratégica da transmissora foi essencial para otimização do projeto, garantindo o desempenho esperado dos conjuntos isoladores/ferragens e torres nas simulações e ensaios realizados, que são a base para alcance da performance operacional planejada durante o período de concessão dos ativos.

Perguntas e Respostas

Os autores avaliaram o envelhecimento do conjunto CICA Cross-Rope ao longo dos anos? Há estudos ou previsões sobre possíveis desafios na substituição dos componentes, especialmente em relação à manutenção em operação e à durabilidade dos isoladores poliméricos?

O envelhecimento dos componentes do conjunto CICA Cross-Rope deve ser equivalente ao da solução tradicional uma vez que ambas as tecnologias devem ser projetadas levando em consideração o período de concessão do ativo, no caso específico, no mínimo 30 anos. O tempo de vida útil previsto dos isoladores compostos é de 40 anos, conforme especificações técnicas do fabricante e ensaios de envelhecimento. Esses componentes são projetados para atender às exigências das condições ambientais às quais estarão expostos, conforme norma vigente, em especial atenção a IEC 60815. Em relação à manutenção, o projeto de linhas de transmissão no Brasil deve prever a manutenção em linha viva para quaisquer que sejam as tecnologias aplicadas. Existem algumas particularidades quando comparado ao sistema tradicional, principalmente devido à disposição horizontal dos isoladores.

No entanto, com treinamento e ferramental adequado esse processo pode se tornar tão ou mais eficiente e seguro quando comparado a solução tradicional, dada a maior acessibilidade e leveza estrutural do conjunto.

Foram avaliadas ou identificadas dificuldades e limitações para a aplicação desta tecnologia, como por exemplo custos maiores para implantação, logística, prazos de fabricação ou outros aspectos, em comparação com a tecnologia adotada atualmente?

Sim, foram realizados estudos de viabilidade para avaliar a implementação da tecnologia CICA Cross-Rope. Identificou-se que o investimento inicial pode ser superior em alguns aspectos, como o custo do conjunto isolador CICA em comparação à cadeia tradicional. Esse aumento é compensado por benefícios em outras áreas, como a redução da faixa de servidão, bem como redução de peso e volume de fundações, ou seja, tal e qual a solução tradicional, trata-se de um problema de otimização multiobjetivo de uma nova série de estruturas capaz de reduzir os custos de implantação e operação e manutenção associados ao longo do período de concessão. Uma vez que o peso das estruturas e os volumes de fundações são reduzidos, consequentemente, há uma oportunidade de otimização dos custos de logística bem como da produtividade associada para construção montagem da nova solução. Quanto à produção, os prazos de fabricação dos componentes são equivalentes aos da solução tradicional. Na montagem em campo, embora os isoladores CICA exijam treinamento inicial devido à nova configuração, a menor largura da faixa de servidão, os menores volumes de fundação e a leveza estrutural da torre CICA tendem a otimizar os prazos e o custo de mão de obra, tornando o processo mais competitivo em termos de cronograma e esforço operacional.

O desempenho de LTs tem sido afetado pela interação com a avifauna, como é o caso da ação da curicaca, provocando até desligamentos. Foram avaliadas possíveis vantagens ou desvantagens da torre CICA Cross Rope sob esse aspecto?

A interação com a avifauna, especialmente com espécies como a Curicaca (*Theristicus caudatus*), tem se mostrado um fator crítico em algumas regiões, devido à construção de ninhos sobre as cadeias verticais e ao acúmulo de detritos nos isoladores de vidro, que podem criar caminhos condutivos e, consequentemente, provocar arcos elétricos e desligamentos. A solução CICA Cross-Rope, ao utilizar cadeias de isoladores poliméricos, com alto nível de hidrofobicidade e dispostas na horizontal, reduz significativamente esse risco, pois dificulta a formação de ninhos sobre os isoladores e minimiza o acúmulo de resíduos.

Considerando ainda haver preocupação com a durabilidade dos isoladores poliméricos, quais as vantagens e desvantagens da solução CICA Cross Rope em relação a uma possível solução com isoladores cerâmicos?

Na opinião dos autores, qual foi o maior desafio técnico neste desenvolvimento?

Título - Sistema de IA para Verificação de Montagem de Conexões e Comparação de Nuvem de Pontos em Torres de Transmissão

Entidade(s) - Instituto de tecnologia para o desenvolvimento ,ENGIE BRASIL ENERGIA S.A,UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Autor(es) - Yuri Arnold Gruber, Tiago Tapparo, Camila Sobrinho Andrade, Bogdan Tomoyuki Nassu, Ricardo Dutra da Silva

Resumo

Neste trabalho, propomos uma abordagem híbrida para a inspeção de torres de transmissão de energia elétrica, combinando técnicas de inteligência artificial e algoritmos de comparação de nuvens de pontos. Inicialmente, o estudo aborda os desafios relacionados à detecção de não conformidades na montagem dos elementos de fixação (parafusos, porcas, arruelas e palnuts), enfatizando a dificuldade de se obter um conjunto de dados robusto para treinamento de redes neurais em cenários reais. Para contornar esse obstáculo, foi desenvolvido um dataset artificial por meio de computação gráfica com o software Blender, que possibilitou a geração de imagens sob diversas condições de iluminação e disposições dos componentes, reduzindo vieses e aprimorando a generalização do modelo. Paralelamente, a metodologia integra um algoritmo que utiliza a distância de Hausdorff para comparar a nuvem de pontos capturada in loco com o projeto 3D da torre, permitindo identificar discrepâncias na instalação dos elementos estruturais, como as cantoneiras. Os resultados preliminares demonstram que a abordagem proposta é eficaz na detecção de falhas, contribuindo para a segurança e a integridade das estruturas, ao mesmo tempo em que otimiza o processo de inspeção e reduz custos operacionais.

Perguntas e Respostas

Os autores analisaram a exigência computacional da metodologia proposta, em comparação a outras possíveis soluções?

Os autores realizaram comparações da metodologia proposta com metodologias já usualmente utilizadas, sobretudo considerando consumo computacional para desenvolvimento dos datasets, exigências mínimas para obtenção das nuvens de pontos, tempo e precisão para processamento das imagens/dados?

Os testes preliminares não apontaram consumo computacional elevado nem significativamente diferente do que já é exigido em outras metodologias usuais. Em outras palavras, o processamento necessário para a construção dos datasets e para a análise das nuvens de pontos mostrou-se compatível com o que já se pratica em soluções convencionais, não configurando, até o momento, um entrave relevante para a aplicação da técnica.

No entanto, os autores ressaltam que a solução ainda não foi implementada em larga escala e permanece em fase de validação, com o refinamento dos resultados a partir de novos levantamentos de nuvens de pontos. Isso significa que, embora os primeiros ensaios sejam promissores quanto ao custo computacional, avaliações mais abrangentes serão necessárias para confirmar a escalabilidade da abordagem e sua robustez frente a diferentes condições operacionais.

Os autores mencionam ganhos operacionais, como a redução do tempo de inspeção e a automação da detecção de falhas. Há alguma análise quantitativa

que compare a eficiência do sistema proposto com métodos tradicionais de inspeção? Além disso, quais desafios foram identificados na implementação em larga escala?

A solução proposta ainda não foi implementada em larga escala. O projeto encontra-se em fases de testes e validação, em que os resultados vêm sendo refinados por meio de diferentes levantamentos de nuvens de pontos. Isso permite ajustar o algoritmo de detecção e segmentação, avaliando sua robustez em cenários variados antes de uma aplicação industrial mais ampla. No entanto, testes preliminares indicam que a análise completa de uma torre leva em torno de 30 minutos em um processador comercial comum.

Como será a interface a ser utilizada em campo para que o responsável pela inspeção tenha resposta imediata sobre a montagem da torre?

Qual é o tempo estimado de uma inspeção usando essa abordagem híbrida?

No momento a inspeção é executada normalmente, os sistemas desenvolvidos serão utilizados como complemento até que se possa aferir a eficácia da solução proposta, no entanto, testes em laboratório estimam que uma análise completa da torre no tocante a posicionamento de cantoneiras pode levar de uma a três horas, a depender do nível de precisão exigido.

Título - A nova norma ABNT NBR 5422: dimensionamento de distâncias de isolamento e de segurança

Entidade(s) - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL, CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS

Autor(es) - Carlos Kleber da Costa Arruda, Julian Luiz Reis

Resumo

Este informe técnico apresenta uma análise aprofundada dos modelos que permitem o projeto do isolamento e, por consequência, as distâncias de segurança, comparando os modelos adotados com a versão de 1985 e outras metodologias e normas do exterior, bem como a comparação com alguns projetos já consolidados no setor elétrico, além de uma discussão de possíveis propostas futuras.

As distâncias de segurança horizontais também abordam os critérios de balanço de condutor específicos de cada metodologia, um ponto importante onde se discute o conceito de vento de projeto, período de retorno e período de integração. Os modelos de balanço foram amplamente discutidos durante a revisão da NBR 5422, mas por falta de consenso manteve-se o modelo de 1985. O balanço assíncrono também é abordado, de suma importância para as linhas compactas.

O IT demonstra a comparação dos modelos para configurações de linhas 69 kV, 230 kV circuito duplo vertical e LT 500 kV cross-rope, tendo assim uma representatividade para três níveis de tensão.

Perguntas e Respostas

Na opinião dos autores, como a ausência de mapas de referência na norma de 2024 pode impactar a confiabilidade dos cálculos de vento?

Os mapas da versão de 1985 já não refletiam os modelos adotados atualmente, e na opinião dos autores não cabia sugerir um novo modelo estático. Atualmente existem bases de dados públicas e particulares, no qual uma demanda do setor pode e deve

incrementar a qualidade da informação, além de estimular uma normatização específica de aquisição, processamento e interpretação destes dados.

A nova versão da norma NBR 5422 demanda a obtenção e tratamento de dados ambientais para posterior aplicação nos diversos dimensionamentos, como o de distâncias de isolamento e segurança apresentado no IT, sendo os resultados bastante sensíveis aos valores de entrada. Na opinião dos autores, e considerando a experiência da aplicação da nova versão da norma, a qualidade de dados disponíveis (vento, temperatura, etc.) tem sido suficiente para dimensionamentos adequados?

A prática indica que os dados disponíveis são suficientes para o projeto de isolamento, refletindo as melhores práticas observadas que já suplantavam a edição anterior. Em outros tópicos, como o de ampacidade, o setor ainda demanda um aprofundamento no tema, e que está sendo feito neste momento,

Considerando as comparações dos valores de velocidade do vento apresentadas no IT como resultado da evolução das normas aplicáveis, os autores avaliam que as prescrições da NBR 5422:2024 atendem aos requisitos de segurança requeridos para o projeto das LTs? Em caso contrário, quais os critérios utilizados atualmente?

Face à necessidade de desenvolvimento de coleta de dados de ventos não sinóticos no Brasil, conforme exposto no IT, os autores poderiam comentar sobre possíveis ações que viabilizem essa intenção?

Tendo em vista a redução da distância cabo-solo obtida para a torre cross-rope da LT 525 kV na comparação das versões da NBR 5422, como os autores avaliam a possibilidade de aproveitamento da folga existente em LTs projetadas segundo a versão de 1985?

A folga em particular obtida no caso 525 kV foi um exemplo de variação que pode ocorrer na aplicação da norma, onde parâmetros podem aumentar ou reduzir. Além do projeto original ter sido realizado sob as condições de contorno definidas pelo projetista, também considera as hipóteses de carregamento e o modelo de ampacidade determinística. Como o foco do IT era isolamento, não se explorou as definições de distância de segurança - mas que certamente é um tema recorrente e que pode e deve ser discutido em um futuro próximo.

Quais os impactos para o custo e a geometria das torres com a nova norma?

Título - Aplicação de otimização de feixes para concepções de linhas de transmissão de baixo ruído

Entidade(s) - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - Carlos Kleber da Costa Arruda, Mayara Cunha Cagido, André Luiz Pereira da Cruz

Resumo

Este informe técnico (IT) aborda a otimização de linhas de transmissão de baixo ruído. A partir da teoria aplicada em linhas de potência natural elevada, define-se uma configuração com campo elétrico superficial balanceado, com uma função objetivo de minimização da atividade corona, consequentemente minimizando interferências eletromagnéticas e ruído audível. Esta forma de mitigação deve ser aplicada em novos projetos, especialmente em áreas urbanas ou de alto custo fundiário. O estudo inclui a análise híbrida de trechos de alta potência e baixo ruído, com diferentes parâmetros de impedância e admitância, utilizando modelos em ATP para avaliar o desempenho do sistema. Os resultados visam comparar a aplicação deste tipo de linha em conjunto com projetos convencionais e de alta potência natural, propondo a combinação de diferentes seções para benefícios significativos em funcionalidade, eficiência e confiabilidade.

Perguntas e Respostas

Os autores mencionam que as linhas híbridas são constituídas de 10% de arranjo Low Noise. Quais estudos embasaram essa escolha e qual seria o impacto técnico e operacional caso percentuais diferentes fossem adotados?

Os autores exploraram as limitações da aplicação prática da utilização do arranjo Low Noise e buscaram dados de medições em laboratório ou em campo da aplicação dessa técnica?

As limitações são mais evidentes quando se aplica em um parcela significativa de uma linha longa, aonde se perde a capacidade de transmissão. A experiência em laboratório e em campo de otimização de feixes está sendo tema do WG, incluindo o uso conjunto de métodos de mitigação tais como tratamento superficial de condutores.

Os autores podem explicar melhor o conceito da faixa estreita da LT Low Noise em comparação com a faixa da LT High SIL, demonstrando a redução da largura que pode ser obtida para os trechos em que se aplica essa condição?

Em projetos no qual a a faixa de passagem é determinada pelo efeito corona, tais como RI e RA, a otimização para redução de ruído pode reduzir significativamente a faixa. Isso fica mais evidente na hipótese de regulações mais restritivas. Reduções mais expressivas, devido ao balanço, podem ser obtidas com o uso de circuitos verticais.

A redução da largura da faixa pode ser usada como condição vantajosa para obtenção de aprovação dos órgãos ambientais para cruzamento da LT Low Noise em trechos de vegetação preservada?

Com certeza. A otimização voltada aos critérios baseados no efeito corona já provê resultados expressivos, e eventualmente na hipótese de novas restrições, por exemplo emissão de ozônio, isso pode ser incorporado como novas condições de contorno.

Título - Sistema de Gestão da Vegetação (SGV) Eletrobras

Entidade(s) - CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - Edgar dos Reis, Aurelio Leandro Pires de Carvalho, Bernardo Ballista, Wanderley Patrício de Sousa Neto, Felipe José Tabosa de Souza Correia, Ana Vitória da Luz Frasca, Valeria Gonçalves Carazzai de Castro, Jader Fernandes

Resumo

Este trabalho busca apresentar as condições que devem ser observadas e atendidas na gestão da vegetação em faixas de linhas de transmissão de energia elétrica além de implantar nova metodologia modernizada com o uso de tecnologias para a identificação de ameaças provenientes da vegetação, seja por proximidade ou risco de queimada. Esse sistema automatiza o acompanhamento das supressões da vegetação, buscando o melhor equilíbrio com a preservação do meio ambiente e os aspectos previstos nos licenciamentos ambientais. O dimensionamento assertivo e evidenciado subsidia as solicitações de Autorização de Supressão de Vegetação (ASV), para reduzir os riscos de desligamentos das Linhas de Transmissão, ao atendimento aos prazos da ANEEL e obrigações do sistema de Gestão Geoespacializada da Transmissão (GGT) [1]. É realizado reconhecimento e segmentação de áreas com condições semelhantes para a supressão, considerando por exemplo áreas de roço, com a limpeza total da vegetação no trecho da faixa, ou corte seletivo, em áreas específicas com restrições ambientais determinadas. Diante disso, serão apresentadas as melhores práticas para identificação dessas áreas, com a combinação de inspeções de campo, uso de imagens de satélite e modelos tridimensionais obtidos por aerofotogrametria e varredura laser. Já em relação a execução da supressão, este sistema prevê o uso de aplicativos WebGIS e GIS Mobile para orientação das equipes em campo, permitindo o uso off-line e atualização diária, realizando uma gestão centralizada e eficiente das atividades.

Perguntas e Respostas

Os autores quantificaram os ganhos operacionais (redução de custo , eficiência operacional, desempenho das linhas, etc...) metodologia SGV apresentada quando comparada com as metodologias utilizadas anteriormente?

A metodologia já tem sido amplamente utilizada nas linhas da Eletrobrás? Quais foram as dificuldades e desafios para escalar a aplicação do sistema desde o piloto até a aplicação em larga escala?

A ampliação do uso está sendo feita de forma gradativa. Os principais desafios estão associados a distribuição das Linhas de Transmissão em todo o território nacional, devido a necessidade de deslocamento da aeronave para voos de aerolevantamento. Existem também diferenças devido ao bioma e agência de licenciamento, que impõem diferentes formas de atuação e com isso diferentes tecnologias e metodologias.

Face às mudanças climáticas e ocorrência de eventos extremos, em particular o aquecimento global e a ação de ventos de alta intensidade, em que medida as atuais condições afetam o planejamento das ações de gestão da vegetação em relação à prevenção dos desligamentos das LTs? Há interação com órgãos reguladores e fiscalizadores visando à eventual atualização de critérios mais adequados às mudanças climáticas?

O projeto SGV se comunica com outros projetos dentro da Eletrobras, com compartilhamento de dados. Destaca-se a integração com o monitoramento de queimadas, em que as limpezas são priorizadas para as áreas com maior risco de ocorrência de queimadas. Os dados do SGV também são utilizados na comunicação

com as agências reguladoras, evidenciando a necessidade manejo nas justificativas para a Autorização de Supressão de Vegetação e Evidenciando a realização do manejo para a fiscalização da ANEEL.

Quais foram os principais ganhos operacionais desde a implantação do SGV?

O projeto tem promovido novos ganhos, podendo destacar os seguintes, até o momento:

- Identificação de riscos que não foram percebidos nas inspeções tradicionais;
- Facilidade de acompanhamento das atividades de Inspeção e limpeza das faixas;
- Padronização e centralização dos registros de atividades;
- Maior alinhamento com as ações desenvolvidas pelo GGT ANEEL;
- Uso das melhores tecnologias pelas equipes;
- Maior segurança para as pessoas, para o meio ambiente e para o sistema de transmissão da Eletrobras.

Título - EXPERIÊNCIAS BRASILEIRAS NA OCUPAÇÃO DO SUBSOLO PARA IMPLANTAÇÃO DE LINHAS SUBTERRÂNEAS EM GRANDES CENTROS URBANOS.

Entidade(s) - Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A., PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S/A, EDS ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA

Autor(es) - Paulo Deus de Souza, Nadia Helena Gama Ribeiro de Louredo, EDUARDO LEANDRO INUCENCIO, EDUARDO KARABOLAD FILHO

Resumo

Atualmente no Brasil, um volume sensível de Linhas de Transmissão Subterrâneas (LTS's) nas classes de tensão de 69, 138, 230 e 345 kV, tem suas rotas estendendo-se por regiões urbanas de grandes metrópoles.

Tais sistemas de cabos isolados de potência, são objeto de estudos de viabilidade e planejamento em todas as suas fases – projeto, construção e instalação bastante extenuantes. O crescimento desordenado das grandes cidades brasileiras, reflete-se na ocupação caótica do subsolo das grandes metrópoles, visto que não há um programa centralizado e coordenado de ocupação do subsolo, o que acarreta grande dificuldade de instalação de novas redes subterrâneas nestes locais.

Desta forma, as questões de viabilização das rotas, sem exceções, representam, um desafio imenso para definir a rota menos “problemática”, na medida que naturalmente busca-se redução de custos de cabos e acessórios, obras civis e serviços de instalação, além, é claro, de soluções técnicas mais adequadas.

Levantamentos de campo são ferramentas importantíssimas no processo de escolha da melhor rota no âmbito da implantação de uma LTS.

Pesquisa realizada em documentos internacionais (artigos técnicos e publicações diversas) demonstra que os desafios são praticamente os mesmos ,quanto a implantação de LTS's em grandes centros urbanos porém muitos os desafios são contornados pelos seguintes fatores: planejamento e engenharia dedicados, bem como pela capacidade de investimento nas fases de projeto, construção e instalação.

O artigo apresentará os desafios normalmente encontrados, as autorizações

necessárias junto a órgãos públicos e privados, bem como questões relativas a métodos construtivos, além de apresentar algumas pesquisas sobre o tema.

Perguntas e Respostas

Na opinião dos autores, quais etapas são essenciais para a implementação de uma regulamentação eficaz sobre a ocupação do subsolo nas grandes cidades brasileiras? Quais seriam os papéis da sociedade, poder público e empresas nessa demanda?

Primeiramente acreditamos que EPE e ANEEL deveriam chamar os órgãos públicos que tratam de outros segmentos, como água e esgoto, gás, redes de telecom, entre outros, e as prefeituras das grandes cidades do país para discutir quais são seus planos de ocupação de subsolo, se é que existem, e iniciar um plano nacional com diretrizes para tal, talvez elaborando uma Norma Técnica Nacional para o tema, onde toda e qualquer rede subterrânea deva ser instalada segundo essas premissas. As concessionárias de todos os setores devem fazer parte da discussão, colocando seus pontos de vistas e contribuindo para que essa "Norma" ou "Plano Diretor" seja efetivamente viável de ser executado. À sociedade civil, acreditamos que caiba o papel de cobrar dos órgãos a entrega de serviços públicos de maior qualidade e confiabilidade, o que certamente passa por redes subterrâneas.

Há ações em andamento por parte dos órgãos reguladores do setor elétrico brasileiro no sentido de instituir o debate com o poder público e os demais intervenientes nesse processo visando a buscar soluções de médio e longo prazo?

Há algum exemplo de cidade brasileira que tenha soluções aplicadas e que possa contribuir com o debate sobre o problema das dificuldades para a implantação de redes subterrâneas?

Essa desordem na ocupação do subsolo em grandes cidades está impactando diretamente nos custos de obra civil para construção de qualquer rede subterrânea, porém, com impacto maior para projetos de linha de transmissão subterrânea devido à área de ocupação ser normalmente maior que outras redes. O autor não acredita que a própria concessionária de energia deveria tomar a iniciativa para criação deste "Plano Diretor do subsolo" junto a prefeitura e outras concessionárias?

Acreditamos que as concessionárias de todos os serviços públicos subterrâneos possam sim iniciar esse movimento e levantarem o tema junto aos órgãos públicos, porém na nossa opinião, somente uma ação vinda das concessionárias não é suficiente para a criação desse ação.

Acreditamos que o poder público é quem deva ser o indutor da discussão e o responsável por dar foco e esforço ao trabalho que é grande. Em nossa opinião, o ideal seria que o trabalho fosse fomentado pela ANEEL e EPE, envolvendo as prefeituras das grandes cidades do país, bem como os governos estaduais, visto que dessa forma teríamos um plano nacional de ocupação do subsolo, o que em última instância daria subsídio para o crescimento das redes subterrâneas em todo o país.

De uma maneira geral, como está a confiabilidade dos cadastros de redes subterrâneas obtidos nas prefeituras e como está o processo de aprovação? Há uma integração entre as secretarias (obras, tráfego, meio ambiente, etc.)? Qual é o tempo que se leva para conclusão deste processo?

Infelizmente os cadastros obtidos nos órgãos municipais não são confiáveis o suficiente para a elaboração de um projeto executivo de uma LTS. Normalmente os órgãos municipais informam apenas as redes existentes nas vias, mas não informam com precisão os dados de profundidade, largura, etc. Em função disso, solicitamos sempre o cadastro às concessionárias de serviços públicos e posteriormente realizamos o mapeamento do subsolo para confirmar as informações cadastrais recebidas.

Em São Paulo, atualmente há sim, uma integração entre a Secretaria de Obras (SMSUB/Convias) e a Companhia de Trânsito (CET), onde ao protocolar o processo num único Portal (GeoInfra) ele tramita entre as duas áreas automaticamente. O processo de licenciamento ambiental não está integrado no GeoInfra, ele ocorre em separado.

Com relação à prazos, em São Paulo, temos os seguintes prazos médios:

Licenciamento Ambiental: Entre 9 e 12 meses;

Autorizações Municipais de Obras incluindo de trânsito: Entre 60 e 90 dias.

Título - Sistema de Monitoramento de Risco para Ativos de Transmissão em áreas de atividade agrícola.

Entidade(s) - CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS, Companhia Hidro Elétrica do São Francisco

Autor(es) - Bernardo Ballista, Aurelio Leandro Pires de Carvalho, Ana Vitória da Luz Frasca, Wanderley Patrício de Sousa Neto, Felipe José Tabosa de Souza Correia, Edgar dos Reis, Valeria Gonçalves Carazzai de Castro, Jader Fernandes

Resumo

O avanço da atividade agrícola no Brasil, impulsionado pelo uso intensivo de grandes áreas e maquinários de grande porte, tem preocupado diversos setores, especialmente na infraestrutura de transmissão de energia elétrica. Como consequência direta dessa expansão, a movimentação frequente de máquinas agrícolas nas proximidades das torres tem aumentado o número de ocorrências de colisões ou toques em linhas de transmissão. Esses incidentes, por sua vez, comprometem a integridade dos ativos, colocam em risco a segurança das pessoas envolvidas e ameaçam a continuidade do fornecimento de energia por linhas importantes do sistema elétrico.

Diante desse cenário, este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de um sistema de monitoramento remoto que utiliza imagens diárias de satélite para identificar, de forma automatizada, áreas com risco de colisão entre maquinário agrícola e estruturas de transmissão. Por meio da análise de mudanças nas imagens capturadas, o sistema detecta colheitas realizadas próximas às torres e gera alertas georreferenciados, mapas e dashboards interativos que subsidiam a tomada de decisão técnica e estratégica pelas equipes operacionais.

Para priorizar as ações, é calculado um índice de risco que considera variáveis como frequência de alertas, tipo e criticidade da torre e relevância do ativo tanto para e

empresa como para o sistema de transmissão. Os resultados iniciais indicam grande potencial para antecipar intervenções preventivas, mitigar danos e otimizar o gerenciamento dos ativos em campo. Em fase de expansão, a solução demonstra viabilidade de replicação em outras regiões do país com características operacionais semelhantes.

Perguntas e Respostas

Os autores enfrentaram desafios na calibração dos algoritmos de sensoriamento remoto para minimizar a ocorrência de falsos alertas? Houve a necessidade de ajustes metodológicos ou aprimoramento dos parâmetros de detecção para garantir maior precisão na identificação de áreas de risco?

Sim. Nos primeiros meses de operação, devido ao grande volume de dados processados, realizamos auditorias amostrais nos alertas gerados e identificamos casos de falsos positivos, como alterações na coloração do plantio e atividades de limpeza de faixas de servidão. A partir dessa análise, foram ajustados parâmetros do algoritmo de detecção para reduzir esse tipo de ocorrência, resultando em maior precisão na identificação de áreas de risco.

Dos alertas informados no IT, qual o percentual resultou em danos efetivos às estruturas de transmissão? Houve alguma análise para correlacionar os alertas com ocorrências registradas, garantindo que o sistema de monitoramento reflita de maneira precisa os riscos reais e possa ser utilizado com um método de previsão de ocorrências?

O sistema foi idealizado com foco preventivo, buscando identificar áreas de risco antes que ocorram danos às estruturas. Assim, as ocorrências registradas até o momento são anteriores à implementação do sistema. Desde sua adoção, as áreas identificadas com um alto risco passaram a receber ações direcionadas de proteção e conscientização junto aos produtores rurais, o que contribui para reduzir a probabilidade de incidentes e reforça o papel da ferramenta como apoio à prevenção.

Os autores podem detalhar os parâmetros que definem as torres em que devem ser instaladas proteções contra a colisão de máquinas agrícolas considerando os custos dessas proteções e os recursos financeiros disponíveis?

Os autores entendem que IA poderá ser incorporado num futuro breve ?

A utilização de Inteligência Artificial é vista como uma evolução natural de qualquer sistema atualmente. Algumas possibilidades de utilização de IA para o sistema são:

1. Classificação automática de eventos, diferenciando colheitas de outras alterações no uso do solo;
 2. Análise preditiva de risco, correlacionando padrões de plantio, histórico de alertas e variáveis sazonais;
 3. Integração com dados externos (meteorologia, calendário agrícola, mercado de commodities) para aumentar a precisão preditiva;
 4. Treinamento contínuo do algoritmo, com aprendizado incremental.
- Esses são apenas algumas possibilidades que os avanços na IA permitirão que o sistema evolua de uma ferramenta de detecção para uma plataforma de previsão e apoio à tomada de decisão estratégica.

Título - Experiência na Implantação de Linhas de Transmissão Subaquáticas Desafios e Soluções

Entidade(s) - EDS ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA

Autor(es) - EDUARDO KARABOLAD FILHO, Roberto Diniz Thomaz Junior, JORGE ANTONIO GUIMARAES DE SOUZA

Resumo

A instalação de linhas subaquáticas exige um conhecimento aprofundado da morfologia e composição do leito, seja ele marinho, fluvial ou lacustre. A morfologia está diretamente relacionada à interação das massas d'água com a composição geológica do fundo. Para o mapeamento morfológico de áreas submersas, são utilizados equipamentos acústicos de alta precisão, como o ecobatímetro, que opera por emissão contínua de pulsos acústicos. Instalado em embarcações, esse equipamento permite a geração de cartas batimétricas a partir de perfis batimétricos obtidos. Com o advento de tecnologias modernas, os dados são digitalizados e processados para criar modelos digitais de terreno, visualizáveis em softwares CAD. No Brasil, a Marinha estabelece as diretrizes por meio da NORMAM-25, alinhada aos padrões da Organização Hidrográfica Internacional (OHI). O mapa batimétrico é uma ferramenta essencial no planejamento da instalação de linhas subaquáticas, pois permite identificar gradientes de profundidade e estruturas do relevo, como afloramentos rochosos.

Perguntas e Respostas

Os autores desenvolveram um estudo comparativo de custo financeiro e cronograma para atendimento da NORMAM 25?

O levantamento das características do leito é de fundamental importância para o desenvolvimento dos projetos de linhas subaquáticas. É necessário fazer levantamentos em diferentes épocas do ano para verificar eventuais movimentações do leito, ou um levantamento já seria suficiente para desenvolver o projeto?

Um levantamento já é suficiente para desenvolver o projeto, desde que seja extremamente detalhado e abrangente, caracterizando a morfologia, composição e as forças hidrodinâmicas do local para que o projeto possa mitigar os riscos associados a eventuais movimentações do leito ao longo de sua vida útil. A necessidade de novos levantamentos parece estar mais ligada à qualidade dos dados inicialmente coletados ou à duração da fase de projeto/instalação exceder o prazo de validade da autorização do levantamento inicial, ou outros fatores, como alterações observadas ou requisitos específicos do projeto/licenciamento.

Face às especificidades da embarcação e equipamentos para realização do levantamento batimétrico e sua importância para a implantação de linhas subaquáticas, os autores poderiam comentar sobre as facilidades e/ou dificuldades de obtenção desses recursos no território brasileiro? Em quais regiões esses recursos são mais disponíveis?

Qual é a opinião dos autores da NORMAM-25 em relação às necessidades técnicas dos projetos de LTs subaquáticas?

A NORMAM-25, e os autores, ressaltam que os projetos de LTs subaquáticas demandam um planejamento meticuloso, a utilização de tecnologias avançadas e precisas, uma equipe altamente qualificada, rigor no cumprimento das normas e um controle de qualidade exaustivo em todas as etapas, desde os levantamentos iniciais até a documentação final, visando a segurança da navegação e a longevidade da infraestrutura

Os autores mencionam a importância do levantamento de campo para o projeto de linha de transmissão subaquática. Em que situações haveria necessidade de alterar a rota com base nessas informações?

Detecção de Perigos à Navegação

Afloramentos de rochas

Identificação de Obstáculos Significativos no Fundo Marinho

Natureza do Fundo Inadequada

Descasamento (Discrepância) das Linhas de Sondagem

Inconsistências Batimétricas com Cartas Náuticas Existentes

Título - Resultados técnicos e econômicos da utilização da localização de faltas por ondas viajantes na linha de transmissão SMA3-SAG2 C1 de 230 kV

Entidade(s) - Cotesa Engenharia LTDA, SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES COMERCIAL LTDA

Autor(es) - Vinícius Deonei Christ, Eduardo Pedro da Silva, Douglas de Oliveira Brunismann

Resumo

Este artigo apresenta os resultados técnicos e econômicos obtidos com a implantação de um sistema de localização de faltas por ondas viajantes (TWFL-Traveling-wave fault location) em uma linha de transmissão (LT) de 230 kV e 160 km de extensão no Brasil. Foi feita a comparação de dados coletados das perturbações que ocorreram desde a entrada em operação da linha de transmissão no ano de 2018 até 2024, sendo o TWFL implementado no ano de 2022 e divisor dos períodos comparativos.

O artigo também aborda a dinâmica e os processos dos setores de engenharia e manutenção perante a ocorrência de perturbações na LT, bem como apresenta a otimização dos processos na análise e inspeção de faltas nas linhas de transmissão, e a maior disponibilidade dos recursos a serem utilizados na execução de tarefas do plano de manutenção preventivo, preditivo, melhorias e correções. Adicionalmente, de forma hipotética foi feita a análise de caso de contingência permanente na LT foco do estudo, e em outra LT localizada em região de relevo serrano com condições de inspeção mais difíceis, e o impacto de possuir dispositivo TWFL na rápida identificação da causa e menor exposição do agente à Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI).

Foi possível identificar uma grande otimização de processos e recursos, além da confiabilidade nos resultados do TWFL , que se mostra um dispositivo indispensável para a Operação e Manutenção eficiente de LTs.

Perguntas e Respostas

Os autores podem mencionar outras tecnologias alternativas para localização de faltas e que possam ser comparadas com a técnica apresentada no IT? Há estudos ou comparações sobre a relação custo-benefício do TWFL em relação a outras técnicas alternativas?

A localização de faltas por ondas viajantes pode ser comparada com a localização de faltas por impedância e componentes simétricas por sequência negativa, conforme apresentado no IT.

No trabalho realizado tivemos uma redução do erro no cálculo de distância de 2610 m quando utilizado o método de impedância para 170 m quando utilizado o método por ondas viajantes. A respeito do custo-benefício tivemos um ganho com a redução em 95% no homem hora necessário para localizar a falta o que representa menos perdas com parcela variável e menor indisponibilidade para o sistema.

Durante pesquisas, identificou-se o artigo "Finding Faults Fast Saves Money and Improves Service" com uma estimativa de ganho com a implementação do TWFL, todavia no que tange ao custo-benefício com resultados reais, não foram identificados estudos adicionais além do presente artigo.

Em relação à oportunidade de melhoria para o monitoramento preditivo pelo uso de precursores de faltas propagados na LT, os autores poderiam comentar e apresentar maiores detalhes sobre os tipos de faltas que seriam passíveis de serem evitadas com a intervenção antes mesmo de sua ocorrência?

Nem todas as faltas podem ser detectadas previamente pelo monitoramento preditivo, normalmente as faltas que podem ser detectadas previamente são aquelas provenientes da degradação gradual da isolação da cadeia de isoladores, seja devido ao acúmulo de sujeira seja pela degradação do material isolante. Estas faltas geram precursores de faltas, que são faltas que se auto extinguem antes que dê tempo da proteção operar. Faltas devido à sedimentação de sujeira e acúmulo de dejetos de pássaros podem ser detectadas previamente, porém faltas devido descargas atmosféricas por exemplo, não.

Admitindo-se que os parâmetros do Caso B possam ser transportados para qualquer outra LT no território brasileiro, guardados os respectivos tempos de atuação das equipes de manutenção, os autores entendem que esse seria um método eficiente de avaliação da implantação da solução por outras transmissoras?

Sim, a avaliação dos critérios de precisão, economia de recursos em inspeção e tempo de indisponibilidade se mostra como um método eficiente.

A fragilidade do método apresentado é para LTs que possuem muito poucos ou nenhum desligamento dentro de uma janela de anos, devido ao baixo número de amostras. Uma possibilidade de contornar essa fragilidade seria incluir no método, a geração de oscilografias através de software de simulação de transitórios eletromagnéticos com possibilidade de gerar ondas viajantes (alta frequência) por meio da modelagem da LT, realizando testes de injeção desses sinais nos IEDs de proteção e dispositivos TWFL para comparação dos resultados.

Por meio disso, entende-se que seja possível confrontar e avaliar o comportamento na LT específica.

Existem ainda melhorias que possam ser implementados ?

Título - ANÁLISE DE RISCOS E CRITÉRIOS ADOTADOS NA UTILIZAÇÃO DE TORRES DE EMERGÊNCIA PARA RESTABELECIMENTO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Entidade(s) - SECCIONAL BRASIL S/A

Autor(es) - ISMAR ESAÚ DOS SANTOS, Guilherme Pires Bastos, Eduardo Pesroso Fernandes

Resumo

Este Informe Técnico tem como foco apresentar evidências e esclarecimentos com o propósito de atenuar um conflito que surge entre projetistas e mantenedores quando da necessidade de uma variante provisória para restabelecimento de linhas de transmissão, justificando a razão de não se utilizarem certos parâmetros previstos em normas por não se aplicarem à temporalidade do empreendimento.

É apresentada uma análise da utilização de estruturas de emergência para restabelecimento provisório de linhas de transmissão seja para restabelecimento pós sinistro ou para obras de reforma e recapacitação, destacando critérios de projeto e desempenho e riscos decorrentes considerando a pequena extensão do trecho e o reduzido tempo em operação nessas condições, comparando com a extensão total e o tempo de operação esperado para a linha permanente, de no mínimo 30 anos.

As Normas sempre levam em consideração uma vida útil prolongada das linhas de transmissão, de no mínimo 30 anos, incorporando conceitos de confiabilidade para esse período enquanto as linhas provisórias têm reduzido tempo de operação e restrições a diversos tipos de atividade, tendo como principal característica a rapidez de montagem e facilidade para desmontagem após cumprir sua função.

Perguntas e Respostas

Os critérios adotados para dimensionamento das variantes provisórias, como resistência ao vento e tempo de operação, têm se mostrado adequados na prática? Há registros que comprovam sua eficácia ao longo dos anos?

Os autores podem comentar sobre a experiência da adoção desse tipo de torre no Brasil? A experiência ao longo das décadas corrobora com os critérios adotados para dimensionamento das variantes provisórias, como resistência ao vento e tempo de operação, ou seja, a experiência demonstra que os critérios adotados estão adequados?

Sim. É esse o motivo que motivou produzir o informe técnico. Não tenho conhecimento de falha de variantes provisórias por vento seguindo os critérios acima. Já foi registrada falha de isolamento de cadeia de isolador compacta porém fora dos critérios adotados. Vide última pergunta.

Os autores mencionam as normas internacionais sobre o projeto e aplicação de torres de emergência. Os critérios apresentados no IT também são adotados em práticas internacionais?

Tendo em vista que a probabilidade de 1 falha em 1 ano de operação da variante provisória de uma LT CA acima de 230 kV aproxima-se bastante da probabilidade de 1 falha em 30 anos de operação da LT original, poderiam os autores tecer maiores comentários sobre ser essa uma situação recomendável ou não?

O correto é uma falha em 10 anos da variante provisória pois essa é a periodicidade de vento considerada mas como as variantes provisórias operam em média por 3 meses a probabilidade cai para uma vez em cada 40 montagens com esse período (2,5%).

Já a linha de 230 kV projetada com ventos de periodicidade de 150 anos tem 20% de probabilidade de falha por vento ao longo do período de 30 anos de operação.

Há registros de falhas com torres de emergência?

Já tivemos informações de falha por isolamento em variante provisória de 500 kV em região litorânea porém após 2 anos de operação nessa condição, com todas as cadeias bastante contaminadas pela poluição salina. Esse período fugiu aos critérios adotados para cadeias compactas que devem ser limpas, sem poluição. A solução foi trocar os isoladores por outros limpos e a variante provisória operou por mais um ano.

Título - Modelagem Semi-Analítica e Numérica para Avaliação de Downbursts em Linhas de Transmissão

Entidade(s) - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL

Autor(es) - Iago Leal de Paula Souza, Carlos Kleber da Costa Arruda

Resumo

Este trabalho investiga a ação de ventos de alta intensidade (High Intensity Winds – HIW), em especial o fenômeno de downburst, sobre linhas de transmissão de energia. Eventos como os downbursts podem gerar danos substanciais na infraestrutura elétrica, resultando em interrupções prolongadas e elevados custos de reparo. A proposta consiste em aplicar uma metodologia semi-analítica, fundamentada nas pesquisas de Aboshosha e El Damatty, para estimar de forma eficiente as reações em sistemas de múltiplos vãos de condutores sob cargas não uniformes. Simultaneamente, um modelo numérico via método de elementos finitos é utilizado para verificar o comportamento dinâmico dos cabos e compará-lo com os resultados obtidos pela abordagem semi-analítica. Os resultados evidenciam que a metodologia proposta fornece boa precisão e considerável redução no tempo de processamento, aspecto essencial em análises paramétricas que envolvem múltiplos cenários de vento extremo. Dessa forma, este estudo contribui para o entendimento aprofundado das solicitações geradas por downbursts em linhas de transmissão, bem como oferece subsídios para aprimorar o projeto e a confiabilidade das redes elétricas frente a eventos climáticos severos.

Perguntas e Respostas

Os autores apresentaram extensa fundamentação sobre o método utilizado e mencionam rapidamente sobre a validação dos resultados obtidos. Os autores poderiam compartilhar os resultados das validações, com os resultados obtidos por ambas as metodologias, bem como análise desses resultados?

Temos uma comparação qualitativa com Aboshosha (2013): padrões e ordens de grandeza coincidem. Dos resultados já calculados destacam-se Δx extremos $\sim [+1.35, -1.34]$ m, $\Delta z \sim [-3.77, -4.0]$ m, $R_x \sim [593.83, 482.81, -474.64, -595.37]$ N e convergência em 5 iterações. Não houve tempo para comparação numérica ponto-a-ponto com uma segunda metodologia.

OS autores apresentaram uma abordagem alternativa para análise do impacto de downburst em linhas de transmissão, porém não mencionaram as limitações e restrições para a aplicação da metodologia. Os autores podem comentar mais sobre esses tópicos?

Principais restrições: condutor modelado sem rigidez à flexão (não captura efeitos de momento fletor), carga de vento representada por perfis semi-analíticos g_y/g_z (simplifica espectro temporal/espacial) e formulação essencialmente quasi-estática (não resolve efeitos dinâmicos de alta frequência). Limitações numéricas relevantes: sensibilidade à discretização e à tensão inicial T_0 e risco de condicionamento/singularidade na matriz tangencial; mitigamos com malha refinada, regularização e validação com CFD.

A metodologia proposta permite avaliar os parâmetros atualmente utilizados para representar a ação de ventos de alta intensidade nas hipóteses de carregamento das estruturas, podendo, eventualmente, fornecer parâmetros mais precisos?

Sim. O método estima Q_y/Q_z , reações e deslocamentos por nó e permite varreduras paramétricas que podem calibrar coeficientes empíricos (por exemplo, coeficientes de pressão local ou largura espacial da rajada) para estudos específicos de HIW, como também podemos calibrar coeficientes de majoração em hipóteses de carregamento. Adicionalmente, podemos reduzir majorações realizadas em cálculos de ventos básicos e/ou esforços de vento.

Qual seria o tempo médio desta modelagem ?

Título - Testes de Carga Virtuais para Torres de Transmissão Através de Simulação Computacional

Entidade(s) - ENGETOWER ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA

Autor(es) - Pedro Henrique Liberato, Ricardo de Oliveira e Britto Perucci, Filipe Guerra Soares, ANGELO BRAZ FADINI FABRI

Resumo

Os testes de carga avaliam a resistência e os deslocamentos estruturais de protótipos de torres sob diferentes hipóteses de carregamento. Apesar de sua importância, os ensaios físicos ainda representam um desafio significativo no desenvolvimento de novos projetos, pois dependem da disponibilidade de estação de testes, de condições climáticas favoráveis e de uma infraestrutura adequada, aspectos que ainda exigem atenção tanto no contexto nacional quanto internacional. Esses fatores podem ser responsáveis por atrasos relevantes no cronograma de fornecimento das estruturas,

especialmente quando há necessidade de testar novamente a torre, o que implica em reorganização de equipes, mobilização de estruturas e readequação de cronogramas já bastante restritos. Além disso, há limitações físicas associadas à altura, à abertura de base das torres e à resistência dos pórticos e fundações das estações de teste, que podem inviabilizar a realização de ensaios em determinadas configurações estruturais.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia que utiliza modelos 3D em BIM para simulação computacional de torres de LT's com elevado nível de detalhamento, visando a criação de um processo de simulação que se assemelhe a uma estação virtual de testes de carregamento, capaz de representar com fidelidade o comportamento físico das torres e possibilitar a validação e identificação de potenciais vulnerabilidades dos projetos, sem as restrições geométricas e operacionais das estações de teste convencionais. A metodologia está sendo aplicada a componentes isolados e estruturas completas com histórico de ensaio físico, como mísulas de torres autoportantes e torres do tipo Cross-rope, permitindo a calibração dos modelos e a correlação entre os resultados numéricos e experimentais. O objetivo é demonstrar a viabilidade técnica da validação estrutural digital e seus benefícios em termos de confiabilidade, economia e agilidade no ciclo de desenvolvimento de novas estruturas. Os resultados obtidos com essa abordagem também demonstram potencial para subsidiar a calibração de critérios normativos, como as curvas de flambagem da ASCE 10 e da NBR 17184, contribuindo para a evolução das práticas de projeto de torres cada vez mais otimizadas.

Perguntas e Respostas

Os autores mencionam que a metodologia utiliza a correlação entre os fatores de carga obtidos numericamente com dados de ensaios físicos para calibragem da modelagem. Dada a calibragem já obtida, é possível extrapolar as análises de carregamentos não convencionais, ou seja, solicitações mecânicas que ainda não possuem correspondência com ensaios físico?

Sim, é possível extrapolar as análises para carregamentos não convencionais a partir da metodologia proposta. Entretanto, é importante destacar que a extrapolação exige uma calibragem específica por tipologia de torre, considerando seu comportamento estrutural característico. No caso das torres CrossRope, por exemplo, observamos uma sensibilidade maior a momentos fletores nas diagonais. Isso indica que torres mais esbeltas exigem maior refinamento na modelagem e validação.

Uma vez calibrado o modelo para determinado tipo de torre, a metodologia permite simular hipóteses adicionais e carregamentos complexos com segurança, inclusive aqueles ainda não testados fisicamente, o que amplia significativamente o potencial de aplicação da simulação estrutural no setor.

Os autores mencionam que os fatores que influenciam os resultados dos ensaios físicos

Os autores têm comparado os resultados obtidos pela metodologia desenvolvida com experiências internacionais? Quais o nível de precisão tem sido obtido com essa metodologia e em relação a iniciativas de outros países?

Em relação a ajustes nas curvas de flambagem previstas nas normas ASCE 10 e NBR 17184, os autores poderiam aprofundar os detalhes das observações feitas até o momento que levam a considerar possíveis revisões nessas normas? Há conclusões já estabelecidas para os ajustes?

Em relação às curvas de flambagem previstas nas normas ASCE 10 e NBR 17184, nossas análises iniciais indicam a necessidade de ajustes para casos específicos, especialmente em estruturas do tipo CrossRope. Nessas torres, observamos que algumas barras, além do esforço axial, estão submetidas a componentes significativos de flexão e torção, efeitos que não são devidamente capturados em análises unifilares convencionais baseadas apenas em elementos de treliça.

Isso nos levou a constatar que a correlação tradicional entre a escolha da curva de flambagem e os parâmetros de esbeltez (L/R) e condições de contorno nas extremidades podem ser insuficientes para representar com precisão o comportamento real de algumas barras. Em certos casos analisados, a curva normativa subestimou o risco de instabilidade, exigindo um ajuste adicional por meio da minoração da resistência da barra para garantir um dimensionamento seguro.

Ainda não temos conclusões definitivas, mas os resultados já obtidos indicam que, em estruturas com comportamento espacial complexo, há margem para uma futura revisão das curvas ou critérios de aplicação, especialmente no contexto da simulação numérica de alta fidelidade.

Os autores entendem ser possível substituir completamente os testes físicos por simulações computacionais no futuro?

Sim, entendemos que é plenamente possível substituir os testes físicos por simulações computacionais no futuro, visto que estamos desenvolvendo uma base técnica sólida e gerando uma validação contínua do método. Para que isso ocorra de forma segura e regulamentada, será fundamental o engajamento de especialistas envolvidos no setor de transmissão de energia, desde os profissionais envolvidos na elaboração das normas (como a NBR 17184 e ASCE 10-15), concessionárias, fabricantes, bem como a participação de certificadores independentes para garantir a confiabilidade dos resultados.

Embora ainda haja um caminho considerável a ser percorrido, as simulações já demonstram grande potencial para substituir parcialmente os ensaios físicos, especialmente em torres que hoje não são testadas fisicamente (como torres de ancoragem, especiais e algumas de suspensão). Nesses casos, vemos que os fatores de resistência adotados (ϕ_R) poderiam se aproximar daqueles obtidos em testes reais, como o valor de 0,93 utilizado atualmente para torres testadas.

Além disso, o uso de simulações permite ganhos adicionais, como a realização de estudos paramétricos, análises de detalhes estruturais, identificação de oportunidades de otimização e redução de peso, além de reduzir a probabilidade de falha em testes físicos tradicionais.

Título - Análise Comparativa da NBR 5422:1985 e NBR 5422:2024: Impactos das Atualizações Metodológicas na Ampacidade de Linhas de Transmissão

Entidade(s) - ARAXA TRANSMISSAO LTDA

Autor(es) - João Lucas Silva da Cruz, DANIEL DINIZ ARDIES, Léia dos Santos Borges, Leocardia Janice Szeskoski Kosuhovski, Caio Rodrigues Alves, MARCIO CORREA DA COSTA

Resumo

O crescimento econômico e a expansão industrial no Brasil geram uma demanda por energia elétrica, exigindo que as linhas de transmissão (LT), novas e existentes, ofereçam maior capacidade operacional. Nesse cenário, a modernização da NBR 5422 é essencial para garantir que os projetos estejam adequados ao novo contexto do setor elétrico.

Este artigo faz uma análise comparativa entre as versões de 1985 e 2024, avaliando os impactos metodológicos no cálculo da temperatura do cabo condutor e ampacidade. A metodologia faz uso da equação do equilíbrio térmico, análise de séries climáticas históricas e simulação em uma LT de 500 kV. A nova versão da NBR 5422 substitui os parâmetros climáticos fixos por uma abordagem baseada em dados extraídos de estações meteorológicas e no conceito de risco térmico estatístico. Variáveis como temperatura do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento são incorporadas por meio de séries históricas e interpolação espacial.

Os resultados mostram que a aplicação da NBR 5422:2024 resulta em temperaturas de projeto superiores às da versão de 1985, o que gera inconsistências em relação às práticas anteriormente adotadas. Apesar da nova metodologia permitir maior representatividade climática, a elevação dos limites térmicos demanda atenção aos efeitos sobre suportabilidade dos cabos, flechas, distâncias de segurança, dimensionamento estrutural e custos das LTs. A ausência de diretrizes claras para a seleção das estações e tratamento de dados compromete a padronização dos novos estudos.

Perguntas e Respostas

Ao longo do trabalho os autores mencionam que, para cálculo de ampacidade, a metodologia da NBR 5422:1985 aplica valores fixos dos parâmetros de interesse, embora admita o uso de dados históricos, enquanto a metodologia de 2024 utiliza dados reais históricos de 10 anos. Houve análise em que ambas as metodologias foram alimentadas com dados reais, tratados de acordo com cada metodologia, da mesma base de dados e com mesmo horizonte histórico, de modo a avaliar exclusivamente os efeitos de cada uma das metodologias?

Não. Para a definição das temperaturas de projeto segundo a NBR 5422:1985, foram adotadas as capacidades operativas sazonais constantes em editais da ANEEL e os critérios mínimos estabelecidos na Nota Técnica ONS 0094/2016_R1. Assim, não houve análise em que ambas as metodologias fossem alimentadas por uma mesma base histórica de dados. As diferenças observadas não decorrem do uso de bases distintas, mas sim da ausência de critérios claros para o tratamento estatístico dos dados e cautela na utilização de velocidades e direção de vento tendo em vista a limitada confiabilidade dos dados horários de vento, parâmetro mais relevante para determinação da temperatura do condutor.

Os autores indicam que a nova metodologia da NBR 5422:2024 introduz o conceito de risco térmico, mas a aplicação prática desses critérios ainda carece de padronização. Os autores identificaram quais ajustes seriam necessários para garantir maior uniformidade na adoção desses parâmetros entre diferentes

projetos?

A direção e a intensidade do vento mostraram-se as variáveis mais sensíveis: séries curtas captam extremos, enquanto séries longas suavizam os resultados. Na prática, operar acima de 90 °C compromete a vida útil dos cabos, aumenta a flecha e pode exigir torres mais altas, elevando custos de projeto e O&M. Diante disso, é necessário padronizar critérios (mesmo que exclua 70% dos dados, como ocorreu em algumas estações): Seleção de estações – evitar estações distantes da LT e com poucos dados. Tratamento de dados – aplicar filtros consistentes para remover registros com radiação incoerente, vento nulo/negativo, NaN em variáveis principais e inconsistências de dia/noite.

Vento – Não considerar a direção a menos que as estações estejam próximas a LT. Considerar a direção real apenas para velocidades ≥ 1 m/s; para ventos fracos, adotar 90°, já que estações a quilômetros da LT não fornecem direção confiável em baixas velocidades.

Esses ajustes aumentam a uniformidade e a viabilidade econômica da norma. Alternativamente, dada a incerteza atual, poderia ser discutido o aumento do percentual de risco térmico, uma vez que valores da ordem de 1% podem ser excessivamente restritivos.

Além da exclusão dos valores de velocidade de vento igual a zero, os autores também consideraram a exclusão de dados de velocidades de vento que possam estar no intervalo de imprecisão das estações meteorológicas (por exemplo, entre 0,1 e 0,9 m/s)? Qual o critério objetivo para excluir os valores, baseado em referências sobre o assunto?

Em relação ao estudo de caso apresentado, os autores poderiam demonstrar uma comparação entre os resultados obtidos com a aplicação direta da NBR 5422:2024 e os que seriam obtidos com a aplicação dos parâmetros estabelecidos pela ANEEL no edital do leilão 004/2025?

Será apresentado um estudo de caso da LT 500 kV Jauru – Vilhena (Lote 4), localizada entre Mato Grosso e Rondônia. Serão mostrados histogramas das variáveis climáticas e a rosa dos ventos, evidenciando que a direção do vento só se torna relevante para velocidades acima de 0,6–1,0 m/s. Os histogramas de temperatura demonstram que baixas velocidades de vento penalizam os resultados, distorcendo a distribuição em relação ao modelo da norma. Observa-se ainda que a adoção do risco térmico de 1% eleva significativamente as temperaturas de projeto. Assim, reforça-se a necessidade de critérios claros e padronização na seleção e no tratamento dos dados, já que as temperaturas obtidas se mostram superiores às previstas na norma de 1985.

Comente sobre definição de critérios claros para o tratamento de dados extremos e inconsistentes.

Título - Projeto dos aterramentos das torres das linhas de transmissão Santos Dumont 2– Leopoldina 2 C1 e Leopoldina 2 -Lagos C1 345 kV

Entidade(s) - Paiol Engenharia, Consultoria e Projetos Ltda EPP

Autor(es) - Paulo Edmundo da Fonseca Freire, CARINA DIAS LEKICH

Resumo

A NBR-17140 [1], publicada em 2024, rege o projeto dos aterramentos de estruturas de linhas de transmissão aéreas (LT). O item 8 desta norma (Modelagem Geoelétrica), abriu espaço para metodologias alternativas à tradicional modelagem do solo, torre a torre, viabilizando o tratamento estatístico do conjunto completo de sondagens geoelétricas levantado ao longo do trajeto da LT. A premissa é que curvas de resistividades aparentes obtidas a partir de linhas de medição individuais podem não ser representativas da estrutura geoelétrica de subsuperfície, por apresentarem desvios associados a ruídos de medição, a limitações inerentes ao método de medição, ao processamento dos dados de campo, além das restrições de modelagem associadas à modelagem 1D.

Este informe técnico propõe uma nova metodologia para o projeto de aterramentos de estruturas de LT aéreas, com base no tratamento estatístico do conjunto de curvas de resistividades aparentes disponíveis ao longo do seu traçado. É aqui mostrado que as distorções nestas curvas podem ser significativamente reduzidas se for disponível uma boa amostragem de curvas de resistividades aparentes.

Como exemplo de aplicação utilizou-se as LT da Transmissora RioMinas, dividida em dois trechos, um de 96 km e outro de 143 km. O projeto original de aterramento foi feito separadamente em duas partes, porém, para efeito de demonstração da metodologia, neste IT a técnica foi aplicada à extensão total da LT. A metodologia proposta é aplicável a qualquer projeto de aterramentos distribuídos, e já foi utilizada em diversos projetos de aterramento de linhas de transmissão e de torres de aerogeradores.

Perguntas e Respostas

Os autores tiveram a oportunidade de comparar os valores de resistência de aterramento obtidos pela metodologia apresentada e valores efetivamente medidos em campo, de modo a ajustar eventuais desvios?

A medição de resistências aparentes (1ª etapa da metodologia apresentada) depende das condições do solo em função da alteração da umidade ao longo do ano? Em caso positivo, qual a sugestão dos autores para a obtenção e/ou tratamento de dados que considerem essa alterações sazonais nas características elétricas do solo?

Realmente as condições do solo variam ao longo do ano, especialmente em termos de umidade; porém, as medições de resistividade do solo vão ser feitas quando o cronograma do empreendimento mandar. Considerando que no período das chuvas a resistividade tende a mudar apenas nas camadas mais rasas do solo, é sempre possível fazer algum ajuste nos valores de resistividades aparentes das medições feitas com os menores espaçamentos (até 8 m ou 16 m, a critério do projetista), antes de se proceder à inversão da curva de resistividades aparentes para a obtenção do modelo geoelétrico. Os programas mais especializados de aterramento (CDEGS e XGSLab), inclusive, já possuem rotinas que fazem estes ajustes, com base em informações climáticas da região.

Foi feito algum estudo comparativo de custo com a metodologia tradicional?

Considerando as vantagens apontadas para a metodologia proposta, os autores podem apresentar dados de desempenho das LTs em que tal metodologia já foi aplicada?

Avaliações de campanhas de medição de resistências de aterramento de torres de LTs já foram objeto de apresentação em outro SNPTEE (no RJ). Neste trabalho foi mostrado que a metodologia tradicional de projeto de aterramento de LTs frequentemente superdimensiona os aterramentos quando as resistividades do solo são elevadas. A metodologia aqui proposta já foi aplicada em diversos projetos recentes de aterramento de LTs. As LTs objeto deste IT foram energizadas este ano (2025), e até o momento não temos informação de nenhum sinistro com desligamentos significativos por desempenho atmosférico. Estamos atualmente iniciando as avaliações das medições de resistências de aterramento das torres destas LTs para aferir os resultados.

Quanto aos equipamentos de medição para o levantamento de resistividades, há recomendações sobre os tipos mais indicados para se obter os dados necessários à aplicação da metodologia?

Desde a publicação da última revisão da norma NBR-7117, em 2020, temos recomendado que as campanhas de medição de resistividades do solo sejam feitas com resistivímetros, equipamentos de maior potência com relação aos terrômetros, com menos restrições, capazes de aplicar tensões da ordem de até 10x mais elevadas no solo e (50 V para os terrômetros e 250 V a 500 V para os resistivímetros), assim, obter medições com melhor relação sinal ruído. Estes equipamentos também fornecem mais informações (corrente injetada pelos eletrodos A e B, e ρV medido entre os eletrodos M e N), do que o simples valor de resistência aparente lido por um terrômetro. Desta maneira é possível a realização, ainda no campo, da qualidade da medição realizada.

Título - Aplicação de técnica de inspeção noturna para evidencição de poluição ambiental sobre uma LT do SIN

Entidade(s) - COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Autor(es) - IVANDRO ANTONIO BACCA, PROTASIO ANDRE STREMEL JUNIOR

Resumo

Este trabalho visa apresentar as técnicas utilizadas em um estudo de caso aplicado em uma Linha de Transmissão do Sistema Interligado Nacional que, com aproximadamente 1 ano após sua entrada em operação, começou a apresentar perda de isolamento recorrentes em cadeias de isoladores de vidro devido à poluição ambiental, ocasionada por minerações próximas a este empreendimento.

Desta forma, as principais contribuições deste trabalho são, apresentar ao Setor Elétrico os resultados tanto das investigações realizadas para, identificar as causas das falhas de isolamento nas cadeias de isoladores desta Linha de Transmissão, bem como, os estudos para compreensão e mensuração do problema, principalmente na determinação do nível de isolamento dos isoladores contaminados, e finalmente as soluções adotadas inicialmente para mitigação da perda de isolamento, como lavagens dos isoladores, bem como a eliminação destas falhas com a substituição dos isoladores comuns, por isoladores adequados a trabalharem em condições

extremas de poluição. Também, apresentar os resultados obtidos após esta solução em definitivo.

Perguntas e Respostas

As ações adotadas para reduzir os desligamentos foram efetivas? Quantos desligamentos ocorreram após a adoção das soluções paliativa e definitiva? Os autores incorporaram os procedimentos relatados no IT à manutenção preventiva e aplicaram nas demais estruturas da referida linha e de outras linhas sob sua concessão?

Quais os diferenciais observados pela técnica adotada em relação às técnicas usuais para identificação de pontos de fuga de corrente em cadeias de isoladores? A observação noturna trouxe ganhos operacionais, de custo ou de precisão para identificação da poluição sobre os isoladores?

Técnicas usuais para identificação de correntes de fugas podem envolver medição direta, através de sensores instalados na cadeia, ou mesmo medições indiretas, através de medição com câmeras de efeito corona e por imagem acústica.

Por sua vez, a inspeção noturna desenvolvida, além de necessitar de baixo investimento, pois basicamente necessitou de uma câmera fotográfica, tripé e lanternas, resultou em uma maior sensibilização (impacto visual) do problema a todos os envolvidos no processo (Manutenção, Engenharia, Especialistas, Gerências, etc.), pois permitiu observar de forma visual e com muitos detalhes, as descargas superficiais. Por sua vez, imagens geradas por câmeras de efeito corona ou por imagem acústica não apresentam estes detalhes, uma vez que necessitam converter estas descargas para sinais digitais.

Ainda, a associação da inspeção visual noturna com a inspeção termográfica permitiu a verificação do fenômeno de descargas parciais, isolador por isolador, tanto no formato qualitativo como quantitativo. Por exemplo, em testes realizados com câmera por imagem acústica no local, não foi possível verificar a condição de descargas em todos os isoladores, apenas sendo observado o ponto com maior concentração destas descargas.

Todavia, é importante destacar que, por si só, a inspeção visual noturna desenvolvida também forneceu, além da análise qualitativa, dados quantitativos. Pois, entre inspeções realizadas, foi possível contar visualmente a quantidade de isoladores que estavam com descargas parciais. Então, além de verificar este fenômeno, esta técnica também permitiu observar sua variação.

Qual foi a distância de escoamento (mm/kV) adotada para os isoladores no projeto original da LT? E qual foi a distância de escoamento obtida com os isoladores antipoluição?

Para o projeto da linha foi considerado um nível de poluição leve. Nesta condição, foram utilizados isoladores de 160kN com distância de escoamento de 380 mm, resultando na necessidade de 22 isoladores por cadeia. Ou seja, uma distância de escoamento total de aproximadamente 8025 mm. Para uma classe de poluição pesada, caso fossem utilizados estes mesmos isoladores, haveria necessidade das

cadeias possuírem 33 isoladores. Em resumo, para o projeto e construção, foi adotado um DEEUR de 27,8mm/kV.

Com relação aos novos isoladores utilizados (antipoluição), estes possuem uma distância de escoamento de 519 mm cada. E, devido ao tipo de estruturas e balanço de cabos, o comprimento total das cadeias não pode ser aumentando. Assim, mantido este comprimento, foi possível instalar 22 isoladores antipoluição, resultando em uma distância de escoamento de aproximadamente 12500 mm, ou seja, um aumento de 56% em relação ao escoamento original, resultando em um DEEUR de 39,6 mm/kV.

Há resultados recentes de acompanhamento do desempenho da configuração final com isoladores antipoluição? Houve algum desligamento após a adoção da solução apresentada?

Sim. Está sendo realizado acompanhamento periódico destes isoladores. Tem-se observado, de forma qualitativa, a deposição de poluentes sobre o mesmo, porém, como estes possuem propriedades hidrofugantes, esta poluição tende a ser retirada com maior frequência quando de chuvas, diminuindo sua concentração. Também, houve uma redução quase que total dos ruídos observados. Antes, estes audíveis de forma permanente e a uma certa distância das estruturas, agora praticamente não estão mais presentes.

Com relação à desligamentos, não houve novas ocorrências devido à poluição ambiental. Todavia, é importante observar que estes isoladores foram instalados a aproximadamente 2 anos (tempo médio de instalação), necessitando de mais acompanhamentos sobre sua eficácia. Também, será importante verificar a resposta desta solução para um novo evento de La Nina, onde pode ocorrer uma redução significativa dos níveis de precipitação no local. Quando acontecerem os desligamentos, a região se encontrava afetada por este fenômeno, com muito poucas chuvas.

Título - Distribuição de Correntes de Curto-Circuito em Linhas de Transmissão: Uma Abordagem com ATPDraw para a atual NBR 17140/2023

Entidade(s) - COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Autor(es) - Bruno Alisson Rodrigues, Wagner Rosa, RAFAEL MARTINS

Resumo

A publicação da norma NBR 17140:2023 trouxe significativos avanços na forma como são apuradas as correntes de curto-circuito em sistemas de aterramento de linhas de transmissão. Essa publicação estabeleceu a necessidade de levar em conta o acoplamento indutivo entre os condutores fase e os cabos para-raios que são elementos aterrados. Este artigo propõe uma abordagem de modelagem para análise dessas correntes, utilizando o software ATPDraw como ferramenta de simulação. A metodologia proposta considera a segmentação da linha de transmissão em blocos representativos (Line Constants Cards - LCC), nos quais são aplicadas as impedâncias próprias e mútuas obtidas via rotina LINE CONSTANTS. Nessa modelagem são incluídos condutores fase e guarda, bem como os elementos de aterramento distribuídos, como cabos contrapeso e estruturas metálicas das torres. A análise, uma vez que compara os resultados das simulações em ATPDraw com os resultados obtidos pela antiga NBR 8449:1984, permite avaliar a influência do acoplamento indutivo na distribuição das correntes de falta, possibilitando a

quantificação das componentes que fluem por cada ponto de aterramento. O estudo mostra que a adoção de uma modelagem precisa, que leve em conta o acoplamento indutivo, é essencial para atender às exigências normativas e garantir a segurança das estruturas e da operação do sistema elétrico, uma vez que a especificação e dimensionamento dos sistemas de aterramento são afetados pela consideração das indutâncias mútuas. O trabalho contribui com uma proposta prática e aderente à norma, servindo como referência para projetos e estudos de engenharia no setor de transmissão de energia elétrica.

Perguntas e Respostas

os percentuais encontrados são significativamente maiores do que os valores de corrente calculados pelo método anterior, o que pode significar que os cabos para raios legados podem estar significativamente subdimensionados. Os autores identificaram indícios físicos que os cabos para raios ora dimensionados apresentam sinais de desgaste prematuro, falhas operacionais ou comprometimento estrutural devido ao subdimensionamento anteriormente adotado? Houve algum estudo ou inspeção de campo para verificar se os cabos para-raios instalados antes da aplicação da NBR 17140:2023 já apresentam sintomas de saturação térmica, aumento de resistências de contato ou degradação por sobrecarga?

Ainda não foram identificadas falhas operacionais diretamente ligadas ao subdimensionamento dos cabos para-raios, mas isso não exclui a possibilidade de já terem ocorrido, dado o universo limitado de observação. O estudo mostra que o dimensionamento deve considerar os vãos críticos, pois apenas nesses casos o fenômeno se tornaria observável. O trabalho comparou o modelo resistivo da NBR 8449 com o modelo LCC, destacando que a NBR 17140, publicada em dezembro de 2023, ainda está em fase inicial de aplicação. Estão sendo realizadas análises em pontos estratégicos do sistema para, posteriormente, elaborar um plano de inspeção direcionado. Assim, os resultados configuram um alerta técnico preliminar, reforçando a necessidade de reavaliação do dimensionamento em linhas existentes, especialmente as anteriores à nova norma ou que passaram por ampliações de subestações.

Embora o ATPDraw seja amplamente utilizado na modelagem de sistemas elétricos, os autores avaliaram se há limitações desse software para representar a distribuição de correntes de falta, especialmente considerando a complexidade do acoplamento indutivo? Além disso, foi realizada alguma análise de sensibilidade para identificar quais parâmetros do modelo possuem maior impacto nos resultados? Essa abordagem permitiria verificar se pequenas imprecisões na entrada de dados poderiam gerar desvios excessivos, comprometendo a aplicabilidade prática das conclusões do estudo.

dada a grande diferença de correntes encontrados entre o método da NBR 8449 e da 17140, quais os impactos que os autores identificaram em instalações legadas? Quais as recomendações dos autores em relação a esse tema?

Os autores aplicaram a metodologia proposta em casos reais, além das simulações apresentadas no estudo? Caso sim, foram observados ganhos de desempenho significativos na função dos cabos para raios?

A metodologia já foi aplicada em projetos de reforços e melhorias, apoiando a especificação e a verificação da suportabilidade dos cabos para-raios. Embora não seja possível quantificar ganhos operacionais imediatos, já que os curtos mais severos são raros e podem demorar anos para ocorrer, a aplicação prática já traz benefícios indiretos. Entre eles: maior confiabilidade dos estudos de suportabilidade, melhor especificação em editais e redução do risco de substituições prematuras por falhas térmicas.

Na prática, a contribuição mais relevante está em reduzir o risco de subdimensionamento nos vãos críticos e alinhar os projetos aos critérios da NBR 17140, assegurando maior robustez ao sistema.

Diante dos valores significativamente maiores para as correntes calculadas considerando a metodologia apresentada, quais as recomendações que os autores fazem para garantir a suportabilidade dos cabos já instalados? Ou ainda, que aspectos devem ser adequados para que os mesmos condutores possam ser utilizados como cabos para raios sem que haja necessidade de adequações mecânicas nas estruturas e fundações normalmente utilizadas?

Diante dos valores significativamente maiores obtidos para as correntes de curto-circuito nos cabos para-raios, recomenda-se que concessionárias e projetistas adotem os seguintes cuidados:

- Inspeções periódicas em cabos para-raios, visando identificar sinais precoces de degradação, principalmente linhas com maiores ocorrências históricas de curto-circuito;
- Verificação da capacidade de condução de curto-circuito dos cabos existentes, comparando os limites térmicos com as correntes recalculadas pela metodologia atualizada;
- Avaliação das resistências de aterramento torre, uma vez que valores elevados favorecem maior circulação longitudinal nos cabos;
- Assim, mesmo cabos já instalados podem continuar a serem utilizados como cabos para-raios desde que confirmada sua suportabilidade térmica e elétrica frente às correntes previstas pela metodologia atualizada, sem que haja necessidade imediata de alterações mecânicas nas estruturas e fundações existentes.
- Em casos de superação, entende-se que não é viável manter em operação os condutores existentes. Nesses casos, a solução tecnicamente adequada consiste na substituição por cabos para-raios otimizados, capazes de suportar maiores valores de suportabilidade térmica ($\text{kA}^2 \cdot \text{s}$) sem degradação, e que apresentem simultaneamente menor massa linear, de forma a minimizar a necessidade de reforços nas estruturas e fundações existentes. Ainda, pode-se avaliar a possibilidade de adição de mais um cabo para-raios nas proximidades da subestação.

Tendo em vista os resultados obtidos no estudo de caso, os autores poderiam detalhar as alterações que deveriam ocorrer na definição dos cabos para-raios da LT para atender aos critérios da NBR 17140?

A aplicação dos critérios da NBR 17140, segundo os resultados obtidos, tem consequências também para as subestações terminais?

Título - ESTATISTICAS DE FALHAS DE LINHAS SUBTERRÂNEAS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL

Entidade(s) - Eletropaulo Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A., PRYSMIAN CABOS E SISTEMAS DO BRASIL S/A

Autor(es) - CARLA DAMASCENO PEIXOTO, Paulo Deus de Souza, Jody Fujihara

Resumo

Linhas de cabos isolados de alta tensão são a opção mais recomendada e, em alguns casos, a única viável nos grandes centros urbanos, apesar de seu custo poder alcançar de 5 a 10 vezes mais, quando comparado com linhas aéreas compactas de mesma capacidade.

Embora menos suscetíveis a fatores externos e condições climáticas extremas, falhas em linhas subterrâneas ou subaquáticas são difíceis de localizar, e podem demandar uma semana ou mais para o reparo, impactando significativamente o sistema elétrico.

Assim, para novas instalações, é essencial considerar lições aprendidas, particularidades da região e aprimorar a gestão de ativos e riscos. O monitoramento contínuo do desempenho e o registro detalhado de ocorrências são fundamentais para aumentar a confiabilidade desse tipo de infraestrutura.

A troca de experiências entre concessionárias e permissionárias, bem como a padronização de reparos e o uso de técnicas avançadas, contribuem para a otimização da operação, mitigação de problemas futuros e redução de custos ao longo do ciclo de vida destas linhas.

Este artigo apresenta a estatística de falhas em cabos isolados em áreas urbanas sob concessão de distribuidoras de energia no Rio de Janeiro e São Paulo. A análise cobre o período de 2012 a 2022 e inclui dados sobre tempo de indisponibilidade, causas das falhas e impactos no sistema.

Dessa forma, busca fornecer recomendações para melhorar a confiabilidade e desenvolver planos de contingência para linhas de cabos isolados de alta tensão, garantindo maior segurança operacional e eficiência no fornecimento de energia elétrica com este tipo de instalação.

Perguntas e Respostas

Os autores apresentam uma discussão aprofundada sobre falhas e suas causas ao longo dos 11 anos analisados. Foram explorados dados de fontes internacionais que poderiam indicar se as taxas de falha observadas no Brasil estão acima ou abaixo da média em outras redes subterrâneas?

Considerando que mais de 80% das falhas de origem externa são relacionadas com escavações de terceiros e vandalismo, em quais anos do período avaliado essas falhas estão concentradas? Há indícios de que medidas preventivas já tenham sido tomadas pelas concessionárias e os números de falhas tenham decrescido ao longo do período?

A causa principal de explosão de uma emenda de transição de cabo OF e extrudado é a falta de óleo ou um erro de montagem. Levando-se em conta que há poucas emendas de transição instaladas no país, a quantidade informada poderia causar distorção quanto a confiabilidade deste acessório. Sendo assim, não seria mais adequada classificar essas falhas como vazamento de óleo ou erro de montagem ?

É importante informar que as emendas transição explodiram. Este tipo de acessório requer cuidados especiais e atenção. O fabricante destas emendas que explodiram era de origem diferente das que estão hoje instaladas no sistema. E a distância dos equipamentos auxiliares de alimentação de óleo destas emendas estavam um pouco mais distantes do que normalmente é instalado, portanto mais sujeitos a variações bruscas de temperatura que ocorrem no Rio de Janeiro. Neste caso, pareceu uma questão de confiabilidade deste fabricante em particular.

Algumas causas de vazamento de óleo de cabos OFs seriam consequências de uma atividade externa como escavações em local próximo desses cabos e ataques de cupins. Alguns desses vazamentos não poderiam ter sido classificadas como falhas de origem externa ?

A pesquisa informa um aumento expressivo de cabos extrudados nos últimos 11 anos (cerca de 25%). Como os autores avaliam essas quedas de falhas e o tempo de reparo mas com aumento de km.circuito de cabos isolados instalados ?

Os cabos subterrâneos tem alta confiabilidade e estão sujeitos a menos falhas se comparados com linhas aéreas. Portanto, aumentar a extensão do sistema não significa o aumento do número de falhas. Por este motivo predominam as causas externas.

Algumas causas de vazamento de óleo de cabos OFs seriam consequências de uma atividade externa como escavações (movimentação de terra) em locais próximos desses cabos. Alguns desses vazamentos não poderiam ter sido classificadas como falhas de origem externa ?

As falhas de origem externa foram classificadas como atividades de terceiros, cupim, explosão de equipamento próximos ao cabo/acessório na subestação e tentativa de roubo.

Observar que cabos antigos isolados a papel impregnado em óleo estão mais sujeitos a vazamentos de óleo pelo tempo de serviço. Logo, antiguidade da linha e consequentemente vazamentos de óleo constituem-se em uma causa interna e não agente externo.

Título - A corrosão da fundação do tipo estaca helicoidais em aço patinável: mitos e verdades

Entidade(s) - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL, CENTRAIS ELETRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS

Autor(es) - Elber Bendinelli, Gerson Vale de Resende, Felipe Garcia Nunes

Resumo

Esse trabalho apresenta um estudo sobre a corrosão de fundações de estacas helicoidais em aço patinável, discutindo mitos e verdades sobre seu uso em ambientes enterrados. A pesquisa analisa o comportamento anticorrosivo de diferentes tipos de aço em solos agressivos e não agressivos, com foco na importância da proteção anticorrosiva nas fundações de linhas de transmissão.

Perguntas e Respostas

Os autores mencionam que, em solo, o aço patinável e aço carbono têm comportamento semelhante em relação à velocidade de corrosão, uma vez que a camada protetora do aço patinável não seria formada nessas condições. Os autores avaliaram a velocidade de corrosão de aço patinável em que a camada protetora tenha atingido sua completa formação e posteriormente submetido aos ensaios em solo não contaminado, contaminado e natural? É possível afirmar que, neste caso, a camada poderia reduzir a velocidade de corrosão?

Não foi observada formação de pátina quando o aço patinável foi enterrado, houve formação do produto de corrosão, porém ele não era protetor. Então esse produto de corrosão formado não pode ser chamado de pátina.

Diante das conclusões apresentadas no IT, quais as recomendações dos autores com relação às estacas fabricadas com aço patinável já instaladas? Há uma recomendação sobre ensaios a serem realizados e sua periodicidade?

Diante das conclusões apresentadas no IT, quais as recomendações dos autores com relação às estacas fabricadas com aço patinável já instaladas? Há uma recomendação sobre ensaios a serem realizados e sua periodicidade?

Diante dos resultados apresentados, em quanto tempo após a instalação podemos admitir que as estacas helicoidais em aço patinável estarão com seu desempenho comprometido?

Pelo resultados análises em solo agressivo em cerca de 5 anos, haverá grande comprometimento estrutural.

Qual o propósito dos ensaios com amostras de aço patinável galvanizado e com a galvanização removida em laboratório?

Qual o propósito dos ensaios com amostras de aço patinável galvanizado e com a galvanização removida em laboratório?

Como os autores interpretam essa diferença da velocidade de corrosão em solo e em atmosfera para o aço patinável?

Na atmosfera existem condições propícias para formação de pátina, ciclos de secagem e molhagem e contaminantes. Isso não acontece no solo, por isso essa diferença enorme de velocidade de corrosão do aço patinável em solo e na atmosfera.

Título - CÁLCULOS DE VENTOS DE PROJETO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - REGIONALIZAÇÃO DOS VENTOS DE PROJETO E APLICAÇÃO DA METODOLOGIA DE CÁLCULO DA NOVA NORMA NBR-5422

Entidade(s) - Companhia Hidro Elétrica do São Francisco, ESC - ENGENHARIA DE SISTEMAS DE CONTROLE LTDA, CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS SA ELETROBRAS

Autor(es) - LÍGIA VERÔNICA GENÉSIO PESSOA, Fernando Vasconcelos Guerra Alvares, Maria Larissa Nunes Da Silva

Resumo

O processo de obtenção de ventos utilizados nos projetos de Linhas Aéreas de Distribuição e Transmissão da ELETROBRAS CHESF evoluiu nas últimas décadas. O presente trabalho tem o objetivo de realizar análises comparativas de cálculo de ventos, desde a antiga NBR-5422 de 1985[1], andamento desses projetos ao longo das últimas décadas de revisão da NBR 5422, até chegar na emissão da norma NBR 5422 de 2024[2].

A temática se dará em torno das mudanças de conceito dos coeficientes utilizados nos cálculos, estações meteorológicas e probabilidade de ocorrência dos eventos, para ventos extremos sinóticos.

Haverá a propagação de pesquisa realizada sobre ventos de alta intensidade (não sinóticos), baseadas nas normas NBR 5422/24[2], AS/NZS 7000 2016 Overhead Line Design -Australian/New Zealand Standard[3] e AS/NZS 1170.2 - Australian/New Zealand -Wind Action[4].

Perguntas e Respostas

Como os dados e as metodologias das Normas AS/NZS 7000:2016 e AS/NZS 1170.2:2021 podem influenciar futuras revisões da norma brasileira? Os autores têm experiências na aplicação dessas normas que possam ser adaptadas para a norma brasileira?

Na opinião dos autores, quais são as principais diferenças entre as abordagens brasileiras e internacionais para caracterização dos ventos extremos?

Considerando as comparações dos valores de velocidade do vento apresentadas no IT como resultado da evolução das normas aplicáveis, os autores avaliam que as prescrições da NBR 5422:2024 atendem aos requisitos de segurança requeridos para o projeto das LTs? Em caso contrário, quais os critérios utilizados atualmente?

Face à necessidade de desenvolvimento de coleta de dados de ventos não sinóticos no Brasil, conforme exposto no IT, os autores poderiam comentar sobre possíveis ações que viabilizem essa intenção?

Considerando as comparações dos valores de velocidade do vento apresentadas no IT como resultado da evolução das normas aplicáveis, os autores avaliam que as prescrições da NBR 5422:2024 atendem aos requisitos

de segurança requeridos para o projeto das LTs? Em caso contrário, quais os critérios utilizados atualmente pela empresa?

Título - Desafios e Inovações na Implementação de Linhas de Transmissão Subterrâneas de Alta Tensão na Região Metropolitana de São Paulo

Entidade(s) - CTEEP - Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista, Empreiteira Paulistana Engenharia e Construções LTDA, EDS ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA

Autor(es) - Luan Henrique de Oliveira, Carlos Eduardo Silva Santos, EDUARDO KARABOLAD FILHO, Rogério Lavandoscki, Nilton Aparecido de Souza, Jody Fujihara, JULIO CESAR RAMOS LOPES, Woong Jin Lee, Roberto Diniz Thomaz Junior

Resumo

Neste informe técnico será analisado uma linha de transmissão subterrânea que visou modernizar a rede elétrica da região metropolitana de São Paulo, com foco em aumentar a confiabilidade do fornecimento de energia e reduzir o impacto visual das linhas aéreas. Foram construídas duas linhas de transmissão subterrânea de alta tensão (345 kV) e uma nova subestação. A obra enfrentou diversos desafios, como solos instáveis, relevo acidentado e chuvas intensas, que exigiram soluções técnicas específicas. Além disso, a existência de dutos e outras infraestruturas subterrâneas que demandou um planejamento cuidadoso para evitar danos e interrupções. As emendas em condutores de alta tensão exigiram alta precisão e um projeto bem estruturado para evitar a contaminação e problemas futuros ao energizar as linhas.

Para superar esses desafios, foram utilizadas diversas tecnologias e metodologias em conjunto. A metodologia BIM auxiliou na visualização preliminar da obra e na identificação de conflitos com instalações existentes. Radares de mapeamento do subsolo permitiram localizar obstáculos subterrâneos, enquanto a perfuração direcional horizontal possibilitou a instalação de cabos em locais de difícil acesso.

O projeto trouxe diversas lições importantes para futuros projetos subterrâneos, como a importância de um planejamento detalhado, considerando as condições locais e as diversas interferências, com maior sinergia entre projeto e obra. A adaptação às condições geográficas, utilizando tecnologias e soluções adequadas, e o trabalho colaborativo entre as diversas equipes envolvidas no projeto também foram fundamentais.

Em resumo, o projeto demonstrou a viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas subterrâneos de alta tensão, contribuindo para a melhoria da qualidade do fornecimento de energia, para a sustentabilidade ambiental e para a segurança dos colaboradores que estavam na linha de frente.

Perguntas e Respostas

O autor menciona o uso da metodologia BIM para otimizar o planejamento e evitar conflitos durante a execução da obra. O autor pode detalhar melhor como essa modelagem interagiu com os dados reais de campo? Houve ajustes significativos no projeto após a aplicação do BIM, e como essas mudanças impactaram a execução, seja em prazo ou custo?

O modelo BIM foi desenvolvido de forma inovadora e experimental, permitindo uma interpretação mais precisa do subsolo e das interferências que poderiam impactar o projeto. Essa abordagem contribuiu significativamente para a visualização e análise das condições reais do terreno. No entanto, o radar utilizado apresentava limitações

de integração com o ambiente BIM, o que comprometeu a sinergia entre os dados geofísicos e o modelo tridimensional.

A metodologia BIM, como importante inovação na implantação de linhas subterrâneas, requer métodos de alta precisão na identificação de instalações já existentes no subsolo. Os autores poderiam dar maiores detalhes sobre a integração desses dois aspectos?

O autor informa que na linha Riacho Grande o radar estava defasado. Que tipo de análise foi feito para corrigir essa defasagem? Quais ações poderiam ter sido tomadas para evitar transtornos antes do início do MND ?

Foi encontrado no mercado um ele tem maior precisão e menor interferência. Se tivéssemos um geo radar mais preciso podíamos ter evitado esses transtornos.

Neste projeto o BIM foi utilizado para otimizar o projeto executivo e reduzir riscos durante a execução da obra. Foi utilizado, também, outros recursos como planejamento integrado, coordenação e gestão de custos e cronograma ?

Não ficamos apenas no BIM 3D – Modelagem Tridimensional

Representação geométrica do projeto (arquitetura, estrutura, instalações). Base para visualização e coordenação.

Título - Estudo de Caso de Fundação Enterrada em Bloco Cilíndrico para Linhas de Transmissão

Entidade(s) - ENERMAIS ENERGIA LTDA, Buscando...

Autor(es) - Joder Siqueira do Nascimento

Resumo

Este estudo apresenta a aplicação de fundações em bloco cilíndrico como alternativa técnica para estais de linhas de transmissão, com ênfase em uma execução simplificada e eficiente. Embora já conhecida no meio técnico, essa solução ainda é pouco utilizada no Brasil, onde predominam fundações do tipo viga em "L". A fundação cilíndrica permite escavação com perfuratriz circular e instalação direta, com profundidades entre 2,50 m e 3,50 m, reduzindo tempo de execução e complexidade logística.

O sistema utiliza cordoalha de 7 fios estabilizada para protensão, conectada ao estai por meio de alça pré-formada tipo Big-Grip, substituindo hastes rígidas e acessórios metálicos. Essa solução aumenta a segurança contra falhas, reduz custos e facilita a implantação em áreas de difícil acesso.

Um campo de testes em escala reduzida foi construído utilizando areia como solo homogêneo, visando avaliar o desempenho de diferentes modelos de fundações. Os melhores resultados foram obtidos com blocos cilíndricos de maior volume, descartando soluções baseadas apenas em atrito lateral. Ensaio em campo e provas de carga realizadas em 5% das fundações confirmaram a estabilidade e resistência do sistema, conforme os critérios da IEC 1773.

O estudo foi aplicado em uma linha de transmissão de 230 kV entre Tocantins e

Bahia, com 750 km de extensão e 93% das estruturas estaiadas. Cerca de 5.580 fundações foram executadas, sendo a maioria composta por blocos cilíndricos pré-moldados.

Os resultados comprovam a viabilidade técnica e econômica da fundação cilíndrica, apresentando-se como uma alternativa segura, eficiente e em conformidade com as exigências normativas do setor de transmissão de energia elétrica.

Perguntas e Respostas

O autor pode comentar mais profundamente sobre as características geotécnicas dos solos ao longo dos 750 km da linha de transmissão que justificaram a escolha da fundação cilíndrica? Há dados de sondagem ou ensaios que embasaram a adoção da fundação cilíndrica?

O IT menciona ganhos logísticos e financeiros com a aplicação da fundação cilíndrica, mas não apresenta comparações quantitativas. Foi realizado levantamento de custo detalhado que permita avaliar a economia real em relação às fundações convencionais, como a viga em “L”? Adicionalmente, o autor obteve dados de acompanhamento sobre deslocamentos, resistência ou comportamento da fundação em campo?

Não foi realizado um estudo comparativo formal de custos entre as fundações cilíndricas e as do tipo viga em “L”. A escolha pela solução enterrada em bloco cilíndrico foi empírica, fundamentada na experiência prática dos executores da obra e nas vantagens observadas diretamente em campo, como agilidade de execução, menor volume de escavação e facilidade logística. Apesar da ausência de um levantamento econômico detalhado, foram realizados ensaios de carga em 5% das fundações implantadas, com medições de deslocamento e verificação de desempenho estrutural. Os resultados foram satisfatórios e permaneceram abaixo dos limites estabelecidos pela norma IEC 1773, validando o comportamento da fundação em campo.

O autor menciona que a viga em "L" é a solução predominante no Brasil,. O auor poderia mencionar quais são os fatores que dificultam a adoção das fundações cilíndricas em maior escala? Existem desafios normativos ou técnicos para a adoção dessa solução?

Pode o autor detalhar um pouco mais as etapas construtivas da fundação em bloco cilíndrico enterrado em comparação com a fundação em viga L e o tubulão sem base alargada?

Como o autor avalia a vantagem da fundação em bloco cilíndrico enterrado em LTs com baixa utilização de estruturas estaiadas, face à logística de execução de fundações para diferentes tipos de estruturas?

A vantagem da fundação em bloco cilíndrico tende a ser mais evidente quando há repetitividade significativa de estruturas estaiadas, como no caso estudado, onde representaram mais de 90% do total. Em linhas com baixa utilização de estais, a logística de execução perde eficiência, pois a mobilização de perfuratriz circular, padronização de blocos e sistemática de montagem podem não compensar o investimento inicial. Nestes casos, a adoção de diferentes soluções fundacionais para cada tipo de estrutura pode ser mais vantajosa sob o ponto de vista prático e financeiro. Ainda assim, a fundação cilíndrica pode ser útil em trechos específicos com restrições de espaço, condições geotécnicas favoráveis ou dificuldade de acesso para escavações convencionais.

Com base neste estudo de caso, a fundação enterrada em bloco cilindro parece ser boa alternativa. Qual é a opinião do autor do motivo dela ser pouco utilizada ?

A baixa adoção da fundação em bloco cilíndrico no setor pode estar relacionada a fatores culturais e à inércia técnica, que favorecem soluções já consagradas como a viga em “L”, mesmo que menos eficientes em certos contextos. Além disso, há uma escassez de referências normativas nacionais específicas para esse tipo de fundação, o que pode gerar insegurança por parte de projetistas e contratantes. Outro fator limitante é a disponibilidade de equipamentos especializados, como perfuratrizes circulares, e a necessidade de treinamento da mão de obra para lidar com sistemas de protensão e componentes não convencionais. Isso cria uma barreira inicial que muitas empresas evitam enfrentar, especialmente em empreendimentos de menor porte.

Com base neste estudo de caso, a fundação enterrada em bloco cilindro parece ser boa alternativa. Qual é a opinião do autor do motivo dela ser pouco utilizada ?

Título - METODOLOGIA MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE UMA DIRETRIZ OTIMIZADA PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA

Entidade(s) - COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Autor(es) - Mário César de Oliveira Filho, RAFAEL MARTINS

Resumo

Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de uma metodologia multicritério para a definição de uma diretriz otimizada de uma linha de transmissão (LT) de energia elétrica da Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN). A aplicação da metodologia é baseada em corredores alternativos para implantação de uma LT planejada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), disponível em seu Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica e Socioambiental (Relatório R1), utilizando um sistema de informações geográficas associados ao método de análise multicritério Analytic Hierarchy Process (AHP). Para implementação do método foi realizado o

estudo de caso de uma LT em 525 kV planejada para conectar a Subestação (SE) Cascavel Oeste na SE Segredo, localizadas no estado do Paraná. A metodologia é dividida em cinco etapas: 1) avaliação de alternativas de traçado propostas no Relatório R1 e novas alternativas, utilizando ferramentas como Google Earth e ArcGIS; 2) identificação e definição de critérios e subcritérios que englobam aspectos ambientais, sociais e técnico-econômicos; 3) organização hierárquica dos critérios e subcritérios, com obtenção dos pesos por meio de questionários aplicados a especialistas; 4) aplicação do método AHP para análise multicritério; e 5) apresentação dos resultados, destacando a diretriz otimizada e os fatores mais influentes na escolha. O AHP possibilita a comparação e hierarquização de diferentes critérios e subcritérios com base em julgamentos de especialistas, permitindo que elementos distintos, ou até mesmo incomensuráveis, sejam comparados de maneira racional e consistente. Os resultados obtidos demonstram a aplicabilidade da metodologia na etapa de estudos para definição de uma diretriz ótima para implantação de uma LT, agregando diferentes critérios em um único problema e auxiliando no processo de tomada de decisão.

Perguntas e Respostas

Os autores consideraram aumentar o número de especialistas consultados, com diferentes níveis de experiência em elaboração de projetos de linhas de transmissão, para a composição dos pesos de cada critério, de modo a mitigar possíveis vieses? Na opinião dos autores, a metodologia apresentada depende do conhecimento dos projetistas sobre a região que as linhas serão implantadas?

Sim, o ideal é que o número de especialistas consultados seja o maior possível, incluindo profissionais das outras especialidades envolvidas no processo, como dos âmbitos social e ambiental. A aplicação da metodologia independe do conhecimento dos projetistas sobre a região atravessada pelo empreendimento, no entanto, esse aspecto poderá auxiliá-lo na definição das melhores diretrizes alternativas.

Nota-se que um dos critérios adotados para análise é o número de vértices em cada uma das alternativas de diretriz. Esse dado foi obtido nos referidos relatórios, através de algum sistema automatizado ou dependeu da análise dos projetistas? Neste caso (dado obtido pelos projetistas), quais cuidados foram adotados pelos autores para mitigar eventuais necessidades de alteração no traçado, que possam resultar em um projeto final mais oneroso do que o inicialmente previsto?

A quantidade de vértices depende da análise do projetista, que deverá estudar as alternativas de traçado para definição das diretrizes. A forma de mitigar eventuais necessidades de alterações no traçado final é inserir, na etapa de estudos, a maior base de dados possível, relativos a interferências ambientais, técnicas e fundiárias, utilizando-se de bancos de dados existentes e coletados, além do conhecimento técnico.

A metodologia, como descrito no IT, não necessitou ajustes. Os resultados foram efetivamente adotados e comparados com uma solução desenvolvida pelo método convencional? Quais foram os resultados obtidos em termos de assertividade e ganho financeiros?

Quais foram as principais razões pela escolha do método de análise multicritério AHP ?

Dentre os critérios estabelecidos para aplicação da metodologia, é contemplada a avaliação de relevos acidentados que impeçam o melhor aproveitamento de estruturas estaiadas na LT?

Neste trabalho, a avaliação de relevos acidentados não é contemplada pela metodologia, uma vez que essa análise depende do levantamento planialtimétrico. No entanto, caso o projetista já possua informações sobre a altimetria do terreno atravessado pelas diretrizes estudadas, talvez seja possível inserir a proporcionalidade de estruturas estaiadas em relação a autoportantes como um critério ou subcritério na metodologia.

Título - Uso de Imagens Térmicas para a Detecção de Anomalias em Cabos Condutores de Linhas de Transmissão

Entidade(s) - COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Autor(es) - Vinícius Miranda Corrêa

Resumo

A inspeção eficiente de cabos condutores em linhas de transmissão é fundamental para garantir a continuidade e a segurança no fornecimento de energia elétrica. Este trabalho propõe uma metodologia baseada na aquisição e processamento de imagens térmicas para a detecção automatizada de anomalias em cabos do tipo CAA (Condutor de Alumínio com Alma de Aço). Utilizando uma câmera térmica de baixo custo acoplada a um microcontrolador, o sistema embarcado captura imagens térmicas que são posteriormente analisadas em ambiente MATLAB®. O fluxo de processamento inclui etapas de normalização, realce de contraste, filtragem morfológica e segmentação por técnicas como Thresholding, Binarização, Detecção de Bordas e Segmentação por Watershed.

Um estudo de caso foi conduzido com uma amostra do cabo condutor CAA, submetido a aquecimento controlado. As imagens obtidas foram analisadas com o objetivo de identificar ilhas de calor e quantificar parâmetros como área, largura, ângulo e variação térmica. A metodologia também incluiu critérios objetivos para aprovação ou reprovação dos cabos inspecionados. A técnica de Thresholding apresentou o menor erro médio na identificação de regiões de interesse, validando sua eficácia para esse tipo de aplicação.

Além dos bons resultados em detecção térmica, destaca-se a proposta pelo uso de hardware acessível e compacto a robôs móveis, o que possibilita inspeções em ambientes de difícil acesso e operações contínuas. A abordagem contribui significativamente para estratégias de manutenção preditiva e se mostra uma alternativa viável frente aos métodos convencionais de inspeção em sistemas de transmissão de energia.

Perguntas e Respostas

Os autores avaliaram a operacionalização para a obtenção das imagens térmicas em campo? Há limitações identificadas sobre a forma de obtenção,

como por exemplo condições meteorológicas, distância em relação aos cabos, diferença de temperatura, carregamento das linhas?

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar e validar técnicas de processamento digital de imagens térmicas aplicadas a cabos condutores do tipo CAA, visando a detecção automatizada de parâmetros geométricos e térmicos que possam indicar anomalias ou falhas. Para tanto, os experimentos foram conduzidos exclusivamente em ambiente controlado, utilizando uma amostra de cabo submetida a aquecimento localizado por meio de um aquecedor elétrico. Não foi realizada, nesta etapa, a avaliação operacional em campo, tampouco a análise de fatores ambientais e operacionais, como condições meteorológicas, distância de captura em relação aos cabos, diferenças de temperatura com o ambiente ou influência do carregamento real da linha. Essas variáveis não compuseram o escopo atual da pesquisa.

A opção pelo ambiente controlado permitiu isolar variáveis externas e concentrar o estudo na eficiência das técnicas de segmentação e extração de parâmetros, possibilitando a validação inicial da metodologia proposta. Estudos futuros poderão contemplar a aplicação em condições reais de operação, considerando limitações operacionais, interferências ambientais e integração do sistema a plataformas robóticas móveis para inspeções em campo.

A metodologia apresentada no artigo se baseia na aquisição e processamento de imagens térmicas, mas quais aspectos realmente a diferenciam da inspeção termográfica convencional? Além do uso de hardware embarcado de baixo custo, houve alguma inovação significativa no processamento das imagens ou na identificação dos defeitos que permita maior precisão ou automação do diagnóstico?

A inspeção termográfica convencional aplicada em linhas de transmissão tem como foco principal a detecção de pontos quentes e a análise do delta de temperatura entre a área inspecionada e sua referência térmica, sendo um método consagrado para identificação de falhas associadas a aquecimentos anormais. No presente estudo, além da análise térmica, foram incorporados parâmetros geométricos extraídos diretamente das imagens processadas, como diâmetro do cabo, largura, área e ângulo das ilhas de calor identificadas. Essa abordagem permite avaliar não apenas a presença de aquecimentos anômalos, mas também alterações estruturais associadas ao posicionamento dos tentos de alumínio, ampliando a capacidade diagnóstica do sistema.

Outra diferenciação é a integração dessas medições em uma rotina automatizada de aprovação/reprovação, baseada em critérios objetivos pré-estabelecidos. Assim, mesmo utilizando um hardware embarcado de baixo custo, a metodologia proposta busca avançar para um modelo de inspeção capaz de fornecer maior precisão e automação no diagnóstico, viabilizando sua futura aplicação em sistemas robóticos móveis para inspeções contínuas.

No que se refere às propostas para trabalhos futuros, os autores podem comentar sobre eventuais ações planejadas para viabilizá-las no sentido da sua aplicação e aprimoramento em condições reais de uma LT em operação? Há ações já em andamento?

O que os autores entendem ser necessários para tornar essa pesquisa em um produto comercial ?

O estudo apresentado neste artigo constitui uma etapa específica de um projeto mais amplo de desenvolvimento de um robô autônomo rastejante para inspeção multimodal de linhas de transmissão, conforme descrito em [Albuquerque et al., 2024]. Nesta fase, o foco foi a validação em laboratório das técnicas de aquisição e processamento de imagens térmicas para análise de cabos condutores, estabelecendo critérios objetivos para detecção de anomalias. Para transformar esta pesquisa em um produto comercial, entendemos que são necessários os seguintes passos: Integração ao sistema robótico multimodal – Incorporar o módulo de inspeção térmica validado neste estudo à plataforma do robô linha-rastejante, que conta com outros sensores (LiDAR, câmeras RGB, acústicos, hiperespectrais) para ampliar o diagnóstico e gerar mapas de inspeção consolidados. Validação em condições reais de operação – Realizar ensaios em campo, em linhas energizadas e sob diferentes condições climáticas, de carregamento e distância de captura, para aferir a confiabilidade e repetibilidade dos resultados obtidos em laboratório.

Automação e processamento embarcado – Migrar o processamento das imagens térmicas e a aplicação dos critérios de aprovação/reprovação para hardware embarcado no próprio robô garantindo operação em tempo real. Padronização e certificações – Adequar o sistema a normas técnicas e requisitos regulatórios aplicáveis à inspeção de linhas de transmissão, obtendo certificações que atestem a segurança elétrica e mecânica do robô e a confiabilidade das medições. Com esses avanços, a solução poderá evoluir de uma prova de conceito acadêmica para um produto comercial capaz de oferecer inspeção preditiva de alta precisão, com maior segurança operacional e redução de custos frente aos métodos tradicionais.

Título - Comparação entre Inteligência Artificial e Planejamento Empírico para Manutenção de Linhas de Transmissão

Entidade(s) - ARARAQUARA TRANSMISSORA DE ENERGIA, State Grid Brazil Holding, Autarquia Federal

Autor(es) - Raphael Leal dos Santos, Changwei Chen, Andre Abel Augusto, Ramon Sade Haddad

Resumo

A manutenção de linhas de transmissão de energia elétrica é essencial para garantir a confiabilidade do sistema elétrico brasileiro e evitar penalidades financeiras decorrentes da indisponibilidade dos ativos. Métodos de previsão baseados na experiência da equipe técnica são amplamente utilizados para prever demandas de manutenção. Este estudo investiga a aplicação de modelos de aprendizado de máquina para aprimorar a previsão da quantidade de anomalias identificadas em inspeções e otimizar o planejamento da manutenção. Foram analisadas técnicas como redes neurais artificiais e modelos de regressão, treinados com dados técnicos e climáticos, e o benefício principal destes algoritmos consiste na visão agnóstica e aplicável para qualquer transmissora sem necessidade de conhecer as rotinas específicas de uma dada instalação e os resultados obtidos demonstram que os modelos baseados em IA apresentam um potencial desempenho superior às abordagens empíricas tradicionais, evidenciando seu potencial como ferramenta de apoio ao planejamento de manutenção em sistemas de transmissão.

Perguntas e Respostas

Além da previsão da quantidade de defeitos identificados, os autores consideraram a possibilidade de estimar quais linhas ou regiões específicas apresentariam maior incidência de falhas? Caso contrário, há alguma análise sobre a viabilidade de incorporar dados geográficos no modelo para otimizar a alocação de recursos e direcionar equipes de manutenção com maior eficiência?

No escopo deste trabalho, o foco principal foi a previsão da quantidade de defeitos com base em séries temporais e variáveis climáticas de todas as linhas de transmissão de modo consolidado. Ainda assim, a mesma abordagem pode ser aplicada de forma segmentada, permitindo a previsão especificamente para uma linha ou região. Essa possibilidade abre caminho para análises geográficas que otimizem a alocação de recursos e direcionem equipes de manutenção de maneira mais eficiente.

Os autores avaliaram se uma abordagem que combina inteligência artificial com conhecimento técnico pode aprimorar ainda mais a precisão das previsões? A integração entre a análise avançada de dados por IA e a expertise dos profissionais de manutenção poderia potencializar a identificação de padrões ocultos e proporcionar um planejamento mais eficiente das ações corretivas?

Sim. A proposta do trabalho parte do princípio de que a IA não substitui, mas complementa o conhecimento técnico das equipes de manutenção, e a própria seleção de variáveis é um exemplo disso. Essa abordagem híbrida potencializa o planejamento, transformando previsões em ações práticas, ao correlacionar fatores ambientais, históricos de falhas e experiência de campo. O valor está justamente no cruzamento entre a visão analítica da IA e a visão contextualizada do mantenedor.

Quais os aspectos favoráveis da aplicação dos modelos baseados em aprendizado de máquina para a otimização de recursos materiais necessários à manutenção das LTs? Como essa otimização pode favorecer a gestão de almoxarifados de peças sobressalentes?

A aplicação de modelos de aprendizado de máquina possibilita estimar de forma mais próxima da realidade a demanda de defeitos ao longo do tempo. Isso favorece diretamente o planejamento da cadeia logística de materiais, permitindo antecipar a necessidade de peças, reduzir estoques ociosos e evitar faltas críticas em momentos de maior demanda. Enquanto o método empírico superestimou significativamente a quantidade de problemas, os modelos baseados em IA se aproximaram muito mais do valor real, evitando que recursos fossem alocados de forma inadequada ou permanecessem ociosos por um planejamento distante da realidade.

A State Grid já está considerando em seu planejamento a adoção de IA na manutenção ?

Título - Método não invasivo para avaliação e detecção de falhas no preenchimento de bentonita em dutos de cabos de alta tensão durante a execução do projeto

Entidade(s) - Prysmian Cabos e Sistemas do Brasil

Autor(es) - Thiago de Andrade Bragagnolle, Woong Jin Lee

Resumo

A bentonita é amplamente utilizada como material de preenchimento em dutos subterrâneos de cabos de alta tensão devido à sua elevada condutividade térmica, promovendo uma dissipação de calor mais eficiente e permitindo a otimização do dimensionamento dos condutores. No entanto, falhas na aplicação da bentonita, mesmo que localizadas, podem gerar pontos quentes que comprometem a capacidade de corrente do sistema e aceleram a degradação do isolamento dos cabos. Este trabalho propõe um método não invasivo para avaliar a qualidade do preenchimento com bentonita durante a fase de execução do projeto. Para validar a eficácia do método, foram simuladas falhas de preenchimento em trechos do duto. A técnica consiste na circulação de corrente elétrica contínua pela blindagem do cabo para induzir aquecimento, cuja distribuição térmica é monitorada por um sistema de sensoriamento distribuído de temperatura (DTS), baseado em fibra óptica integrada à blindagem. A análise do perfil térmico permitiu identificar anomalias associadas às falhas simuladas, que foram localizadas e posteriormente corrigidas. Após a correção, os perfis térmicos se normalizaram, demonstrando a eficácia da metodologia. A principal vantagem dessa abordagem é permitir a detecção e correção de falhas ainda na fase de implantação, antes da energização do sistema, garantindo o desempenho térmico adequado do circuito e prevenindo falhas operacionais futuras.

Perguntas e Respostas

Os autores tem conhecimento da aplicação dessa metodologia em sistemas fora do Brasil? Se sim, foram registradas dificuldades para a aplicação em larga escala e sistemas de maior comprimento?

Os autores podem detalhar quais seriam as dificuldades práticas para a aplicação dessa metodologia maiores do que a LTS apresentada no IT?

Podem existir situações em que a falha no preenchimento com bentonita não seja de grande monta e, assim, não percebida pelo método de monitoramento? Em caso positivo, haveria comprometimento da capacidade de condução de corrente do sistema?

Os testes realizados para validar esta metodologia indicam que até mesmo falhas pequenas (<1m) são detectáveis. Uma vez que leitura de temperatura da fibra pode ser ajustada, mesmo um pequeno trecho sem bentonita faria com que a temperatura média no trecho fique acima dos demais trechos, se tornando detectável.

Cite as dificuldades técnicas para injeção de corrente contínua na blindagem. Qual seria o limite de comprimento ?

A dificuldade está em ter a disponibilidade de fontes de corrente contínua de alta potência. É necessário que a tensão e potência da fonte DC sejam suficientes para que uma corrente seja gerada a ponto de causar o aquecimento da blindagem. Vai depender da construção da blindagem do cabo (área da seção mm² e o material) e o comprimento entre emendas.

A maioria dos projetos de linha de transmissão subterrânea na Europa e EUA não usam bentonita. Qual é a opinião dos autores quanto a eliminação desta bentonita?

a eliminação da bentonita pode ser realizada desde que o circuito tenha sido dimensionado para esta condição. O uso da bentonita pode gerar otimizações da seção do condutor, desde que seja bem aplicada e não possua falhas.

Título - IA Aplicada na Inspeção em Linhas de Transmissão

Entidade(s) - Elektro Operação e Manutenção, Neoenergia S.A.

Autor(es) - Vinicius Fraticelli, Gerson Rodrigues Cordeiro Junior

Resumo

As inspeções em linhas de transmissão enfrentam desafios recorrentes relacionados à padronização, rastreabilidade e alocação eficiente de recursos. Este artigo apresenta a aplicação integrada de algoritmos de Inteligência Artificial (IA) e drones como uma alternativa tecnológica viável ao modelo tradicional de inspeção visual com escalada, com ganhos expressivos em eficiência, segurança e qualidade.

A metodologia foi inicialmente validada em uma prova de conceito (POC) envolvendo 220 estruturas, com foco na detecção automática de anomalias como ninhos de pássaros, corrosão em ferragens e danos em isoladores. Os modelos de IA, treinados em ambiente em nuvem (Microsoft Azure), atingiram acurácia de até 98%, demonstrando robustez mesmo com bases de imagens reduzidas. Para viabilizar o treinamento, foram utilizadas técnicas de aumento de dados e pré-processamento de imagens de baixa resolução.

O sistema resultante foi integrado ao SIILT (Sistema Inteligente de Inspeção em Linhas de Transmissão), permitindo o processamento automático de milhares de imagens georreferenciadas e a geração estruturada de relatórios técnicos com suporte à priorização de falhas. Os resultados obtidos permitiram a escalabilidade da solução para mais de 7.500 km de linhas de transmissão, incorporando um novo fluxo operacional para inspeções visuais.

A iniciativa reduz significativamente o volume de deslocamentos em campo, melhora o direcionamento das ações de manutenção e contribui para o aumento da previsibilidade operacional. A experiência relatada reforça o potencial do uso combinado de Inteligência Artificial e drones como instrumento de apoio à gestão inteligente de ativos no setor elétrico.

Perguntas e Respostas

Além da precisão de 98% na identificação de anomalias, os autores também avaliaram a taxa de falsos positivos na detecção? Esses casos foram tratados para evitar que equipes fossem deslocadas para esses locais?

Para evitar impactos operacionais causados por classificações incorretas (falsos positivos ou falsos negativos), o sistema foi estruturado de forma a mitigar esses casos. Sempre que uma possível anomalia é detectada, a equipe de análise realiza uma validação manual antes de qualquer ação no campo. Esse processo inclui a retroalimentação dos modelos de IA, ajustando-os continuamente para reduzir a taxa de falsos positivos. Ao final da inspeção, um relatório de validação é gerado e incorporado ao sistema para aprimorar os modelos, buscando sempre atingir os níveis de precisão estabelecidos (98%, conforme validado em testes). Dessa forma, apenas as anomalias devidamente validadas pelo time de análise de imagens geram ações corretivas, eliminando o risco de deslocamentos desnecessários.

Quais foram os principais desafios enfrentados pelos autores durante a implementação dessa metodologia? Além das dificuldades técnicas e operacionais, quanto tempo foi necessário para o desenvolvimento e treinamento dos modelos de IA e os custos representaram um investimento significativo? Houve alguma estratégia para otimizar recursos e reduzir despesas sem comprometer a precisão dos algoritmos?

O principal desafio enfrentado foi a identificação da tecnologia de inteligência artificial mais adequada e eficaz para o tipo de processo em questão, considerando tanto a qualidade quanto o volume de imagens disponíveis. A escolha criteriosa da abordagem técnica foi essencial para garantir a robustez do modelo e a confiabilidade dos resultados. O projeto, que incluiu o desenvolvimento do software de análise de imagens e o treinamento dos modelos de IA, foi concluído em apenas cinco meses. Esse prazo enxuto foi possível graças à dedicação da equipe e à adoção de uma metodologia ágil, com ciclos curtos de validação e melhoria contínua. Como resultado, conseguimos reduzir significativamente o tempo dedicado às inspeções detalhadas em campo, o que permitiu a realocação de horas para ações de capacitação das equipes e o aumento do percentual de ensaios realizados anualmente (como medições de aterramento e tensionamento de estais) nas torres. Importante destacar que essa otimização foi alcançada sem comprometer a acurácia dos algoritmos desenvolvidos.

Principais desafios superados:
Seleção do modelo de IA mais apropriado, considerando a natureza do problema, a complexidade dos dados e a necessidade de interpretação dos resultados. Também foi fundamental identificar parceiros com capacidade técnica para desenvolver a solução de ponta a ponta. Estruturação de um fluxo de processo em IA, garantindo que o pipeline fosse confiável, auditável e evolutivo. Isso envolveu desde a coleta e curadoria dos dados até a validação contínua dos modelos em produção. Viabilização financeira e captura de ganhos operacionais, com foco na eficiência e na qualidade. A mensuração dos ganhos em horas-homem (HH) foi essencial para justificar o investimento e demonstrar o retorno tangível da iniciativa.

Custos e recursos:
Os principais custos estiveram associados ao uso de serviços em nuvem, especialmente para armazenamento e processamento de imagens em larga escala. Vale destacar que todo o projeto foi executado com recursos internos, sem aumento de equipe, o que reforça a eficiência e a maturidade técnica da organização.

Como os autores avaliam a possibilidade de expansão da metodologia de inspeção para a detecção de padrões de outros defeitos em LTs, tais como: cabos com tentos rompidos, anomalias em esferas de sinalização, falta de peças em torres por ação de vandalismo etc.?

Como os autores avaliam a possibilidade de expansão da metodologia de inspeção para a detecção de padrões de outros defeitos em LTs, tais como: cabos com tentos rompidos, anomalias em esferas de sinalização, falta de peças em torres por ação de vandalismo?

A mesma interface utilizada para análise de imagens pode ser adaptada para identificar outros tipos de anomalias. O processo prevê a utilização dos modelos existentes, com possibilidade de criação de novos modelos conforme a identificação de anomalias não previstas inicialmente. Quando o analista identifica uma nova anomalia que ainda não está mapeada, essa informação é registrada e, caso a frequência de ocorrência atinja um limite mínimo predefinido, um novo modelo é desenvolvido e incorporado ao sistema. Este processo faz parte do ciclo contínuo de melhoria e validação, garantindo que as novas classificações sejam devidamente treinadas e integradas ao fluxo de inspeção.

Na opinião dos autores, qual foi o maior desafio técnico neste desenvolvimento ?

Título - Drone para Instalação de Esferas de Sinalização – P&D Aneel Cemig

Entidade(s) - Cemig GT

Autor(es) - GUILHERME DE ALMEIDA NEVES,Guilherme Brangioni ,Lucas Matheus Carneiro de Souza

Resumo

As esferas de sinalização aérea são dispositivos de segurança com instalação obrigatória em determinados trechos de Linhas de Transmissão e Distribuição. Elas servem de referência visual para pilotos, evitando acidentes de colisão com os cabos. Na Cemig a instalação desses dispositivos é realizada utilizando as metodologias por corda, robô ou helicóptero. Porém, essas técnicas expõem os profissionais a riscos inerentes às atividades por exigirem a escalada das estruturas, além de custos significativos no caso da utilização dos helicópteros. Ainda, é progressivo o desafio de realizar novas instalações com recursos cada vez mais escassos e muitas variáveis a serem observadas.

Nesse sentido, a Cemig desenvolveu, no “P&D GT 0670 - Solução Autônoma Integrada para Instalação e Manutenção de Esferas de Sinalização em Linhas de Transmissão e Distribuição”, um dispositivo para instalação das esferas de sinalização por meio de drone, com mecanismo capaz de transportar a esfera até o cabo onde será fixada, realizar a instalação, desacoplar-se e retornar ao ponto de decolagem. Este processo pode ser realizado sem o desligamento das linhas, além de não exigir a escalada das estruturas, eliminando a exposição aos riscos. Não é necessária qualquer adaptação na esfera convencional já comercializada, utilizando-se das mesmas esferas atualmente instaladas por helicópteros.

Perguntas e Respostas

Na comparação entre drones e helicópteros para instalação de esferas de sinalização, os autores consideraram a produtividade operacional por voo? Os helicópteros conseguem instalar múltiplas esferas em sequência, enquanto drones podem ter limitações de carga e autonomia. Há alguma análise sobre o impacto dessas diferenças na eficiência do processo, especialmente em trechos longos ou de muito difícil acesso de linhas de transmissão?

Na comparação entre drones e helicópteros para instalação de esferas de sinalização, foi considerado a produtividade por voo de instalação. Mesmo que os helicópteros consigam instalar múltiplas esferas em sequência, é necessária uma equipe mobilizada no chão para dar suporte a essas instalações, aumentando ainda mais

mais o custo da instalação por helicóptero. A instalação de múltiplas esferas em sequência, em trechos diferentes exige uma plano de ação grande com necessidade de sinergia de várias equipes, em diferentes pontos, bem como caminhões de abastecimento do helicóptero. A análise levou em consideração a eficiência do processo em trechos longos e de muito difícil acesso de linhas de transmissão. Existem trechos de difícil acesso, como regiões de vales, que são locais onde helicópteros não podem operar devido a obstáculos, espaço aéreo restrito ou condições ambientais.

Ainda a instalação com o drone pode ser utilizada de forma pontual ou em baixa demanda, onde mobilizar uma aeronave tripulada se torna economicamente inviável. Exemplo teríamos, como ações emergenciais ou corretivas, em que a rapidez do drone e a ausência de necessidade de desligamento da LT representam uma vantagem, sem a necessidade de grande mobilização, como no caso do helicóptero. A análise de viabilidade do projeto indicou que, mesmo considerando a menor capacidade de carga e a necessidade de múltiplos voos para trechos extensos, os ganhos em segurança e redução de custos (cerca de 70%) justificam a utilização do drone.

Os autores apresentaram a comparação de custos entre a instalação com uso de helicóptero e método de instalação com drone. Os autores podem explorar melhor esse aspecto, considerando outros métodos comumente utilizados para instalação nesta comparação?

A comparação foi realizada com base em outros artigos, conforme referência bibliográfica e custos internos da empresa. A análise concentrou-se na comparação entre helicópteros e drones, por ser essa a alternativa mais representativa em termos de custo elevado e risco operacional.

Temos outras metodologias como instalação por corda, ou aproveitando desligamentos, ou com robô:

Instalação com corda: exige deslocamento de eletricitistas até o local da instalação, risco de prender a corda, não pode ser utilizado em todos os locais, tem limitação de altura. Embora apresente custo direto menor que o uso de helicóptero, envolve custos indiretos relevantes associados a segurança.

Robôs instaladores: assim como o método por corda, possui limitações de locais para instalação, dificuldade de levar o equipamento em locais de difícil acesso, baixa produtividade. Sua aplicação é limitada e não elimina integralmente a exposição dos eletricitistas que necessitam de subir nas torres com o equipamento para fazer o posicionamento do robô no cabo, bem como resgatá-lo após a instalação.

Ao considerar esses métodos no comparativo, observa-se que a instalação com drone apresenta vantagens significativas de segurança frente ao trabalho em corda e robô, eliminando a necessidade de trabalhadores em altura ou proximidade da linha energizada.

Em termos de custo total, o drone tende a ser competitivo não só frente ao helicóptero, mas também frente ao trabalho em corda e com robô, quando se incluem os custos indiretos de desligamentos programados, logística de acesso a torres, tempo de execução, custo de aquisição/manutenção.

Quais os desafios identificados pelos autores para dar escalabilidade a essa metodologia?

Os autores podem detalhar o mecanismo de acoplamento e desacoplamento da esfera convencional pelo drone?

Sim, se possível fosse, podemos levar o equipamento para demonstração. O mecanismo possui dois pontos de apoio na esfera de sinalização. Um lado onde temos ventosas que realizam a função de sustentar a esfera pelo mecanismo e consequentemente pelo drone, do outro lado um chanfro conectado a um parafuso sem fim e a um motor que realizam tanto a função de sustentação como de giro do olhal de fixação da esfera. A esfera é a mesma utilizada para instalação por helicóptero e já amplamente comercializada e instalada nas linhas de transmissão. Assim que a esfera é encaixada no cabo para-raio, é acionado o mecanismo do motor que gira o olhal de fixação da esfera. Após a fixação da esfera no cabo, a bomba de vácuo é desligada e o mecanismo desacoplado da esfera, liberando o drone para retorno, terminando assim a operação segura da instalação da esfera de sinalização.

Os autores podem detalhar o mecanismo de acionamento da esfera robótica para seu deslocamento ao longo do cabo para-raios?

Na opinião dos autores, qual foi a maior dificuldade encontrada neste projeto P&D ?

Título - Transformação digital para otimização do processo de inspeção de linhas de transmissão

Entidade(s) - IN Forma Software S/a

Autor(es) - Helloise Gabrielle da Mota, Felipe Borba Breyer, Adiel Teixeira de Almeida Filho, Virgínia Adélia Cordeiro Sgotti, LENINGRADO FLORENCIO

Resumo

Na área de transmissão, vem crescendo o número de empresas que aderiram ao processo de inspeção digital de torres. Nesse cenário, o processo de inspeção tradicional é substituído pela inspeção por imagens a partir de um computador em ambiente interno, com conforto e segurança para os especialistas. Esse movimento eliminou alguns problemas da inspeção tradicional, promovendo maior segurança e minuciosidade à inspeção, mas surgiram novos desafios, como a necessidade de manipular e manter o armazenamento de milhares de imagens de forma organizada e de organizar os registros dos defeitos encontrados. Além disso, para construir um processo de digitalização de sucesso, é necessário observar, além da busca por produtividade, desburocratização de processos e gestão eficaz de dados, a integração da inovação com os profissionais que lidarão com ela diariamente e os novos desconfortos físicos e cognitivos enfrentados por esses profissionais. Para enfrentar esses desafios, foi desenvolvida uma plataforma de software que integra as atividades de armazenamento, organização, execução e gestão da inspeção digital. Comparando os processos de inspeção digital previamente praticados pelas empresas com o processo concentrado na plataforma, o uso da solução trouxe

resultados significativos, como a possibilidade de redução das etapas necessárias para a inspeção, do tempo de disponibilização das imagens para inspeção e do tempo de inspeção. Além do aumento da segurança, transparência e rastreabilidade do processo. A longo prazo, os dados provenientes do processo de digitalização da inspeção também servem de insumo para o uso de abordagens preditivas, considerando a incidência de defeitos e a taxa de degradação dos componentes.

Perguntas e Respostas

A digitalização de processos operacionais exige não apenas implementações tecnológicos, mas também uma mudança cultural dentro das empresas. Em especial o setor elétrico é bastante conservador e prioriza métodos convencionais. Quais estratégias os autores sugerem para garantir que os colaboradores se adaptem à nova estruturação de dados de maneira sustentável? Dentro do plano apresentado, há iniciativas voltadas para capacitação, engajamento ou reconfiguração organizacional que possam mitigar resistência à mudança?

Há alguns anos já é notória a importância de ter as pessoas como agentes de mudança das organizações e isso pode ser feito trazendo os colaboradores para contribuírem de forma ativa nas ações para a transformação. Por isso, o primeiro passo para a implantação do PowerInspekt é traçar o diagnóstico do cenário da empresa para entender o modelo mental e cultural dos envolvidos em seus processos atuais, os seus históricos profissionais e expectativas futuras, bem como o seu modelo organizacional.

Dependendo do resultado desta avaliação, as estratégias podem ser diversas: evidenciar os ganhos corporativos, como a redução de custos, aumento da agilidade e reforço ao compromisso com a transição energética, e individuais, como mais segurança e conforto, de modo a mitigar possíveis pontos de resistência; traçar um plano de adesão gradativa, contando com colaboradores que tem um perfil mais aberto à inovação e que podem se tornar importantes aliados para multiplicar os benefícios entre os demais, resultando em engajamento; entre outras. Além disso, o PowerInspekt foi desenvolvido priorizando dos conceitos e semânticas utilizadas pelos especialistas em inspeção para maximizar a experiência do usuário, levando em consideração o conceito de modelo mental dos usuários e contando com sua participação na construção das funcionalidades de forma otimizada, o que reduz o atrito no momento do uso.

Em paralelo, temos também a avaliação de maturidade digital da empresa, se são necessárias aquisições de equipamentos, drones, estações de trabalho adequadas, maior velocidade de internet, treinamentos para a captação de dados, e as orientações necessárias em cada frente.

O artigo destaca a digitalização da inspeção de linhas de transmissão, mas não aprofunda a questão da integração de dados históricos e sistemas proprietários. Quais desafios os autores percebem para a unificação dessas bases de dados? Como garantir compatibilidade entre registros antigos e novos formatos digitais?

O PowerInspekt foi desenvolvido para ser a plataforma de inspeções digitais integrada aos principais sistemas de gestão de ativos utilizados no setor elétrico. Em vez de agregar as funcionalidades inerentes à gestão de ativos, como planejamento de

manutenção e ordens de serviço, o PowerInspekt se integra ao catálogo de dados existente na gestão de ativos, tais como: dados de configuração das linhas de transmissão e das torres, componentes inspecionados e seus possíveis defeitos, posicionamento, priorização, entre outros. Dessa forma, o registro das inspeções no PowerInspekt retorna ao sistema de gestão de ativos encaixando-se na mesma estrutura que comportam os registros de inspeções anteriores executadas no método tradicional, mantendo uma visão contínua do histórico de inspeções dos ativos.

Os autores poderiam apresentar maiores detalhes sobre as aplicações práticas da plataforma, como as interfaces proporcionadas aos usuários com dados e imagens das peças defeituosas para inspeção?

Nos cenários em que as empresas ainda adotam processos tradicionais de inspeção, quais dificuldades houveram na readaptação das pessoas a novas funções oriundas da digitalização das atividades de inspeção?

Quais foram as principais dificuldades encontradas nessa transformação digital em inspeção de linhas de transmissão ?

Tratando-se do desenvolvimento do PowerInspekt tivemos como desafio o treinamento da inteligência artificial, devido à diversidade de componentes e modos de falha e à necessidade de selecionar e anotar um conjunto suficiente de imagens para o treinamento dos modelos de IA. Além do esforço empregado na atividade, nem todas as empresas possuem um histórico de imagens consistente para viabilizar o treinamento de todos os componentes e defeitos requeridos.

Do lado das empresas, a mudança do método tradicional de inspeção local para inspeção digital por imagens é uma das principais dificuldades. O técnico, que antes era responsável por escalar a torre, passa a operar o drone, aprende sobre uso adequado das configurações da câmera e do enquadramento para obtenção das imagens. Porém, uma vez orientados, os próprios técnicos conseguem visualizar os benefícios, inclusive para inspeções mais minuciosas, explorando ângulos de difícil acesso por meio de outros métodos. Inicialmente, também houve uma dificuldade ligada à velocidade de internet das empresas para carregamento das imagens, porém o PowerInspekt já foi aprimorado para contornar este ponto.

Título - GESTÃO DA VEGETAÇÃO EM FAIXAS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO UTILIZANDO IMAGENS 3D DE ALTA DEFINIÇÃO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Entidade(s) - COPEL GERAÇÃO E TRANSMISSÃO S.A.

Autor(es) - RAFAEL TERPLAK BEE, Vinícius Miranda Corrêa

Resumo

A gestão da vegetação em linhas de transmissão é uma prática essencial para garantir a segurança e a eficiência do fornecimento de energia elétrica. Esta gestão envolve o controle e a manutenção da vegetação ao longo dos corredores de linhas de transmissão visando evitar interrupções no serviço e minimizar riscos de incêndios florestais.

Logo, esta prática implica diretamente na operação das linhas de transmissão e conseqüentemente na receita recebida pelas transmissoras de energia. Os

desligamentos de linhas de transmissão oriundos desta natureza correspondem a segunda causa em número de ocorrências nas linhas da Copel GET. Cabe ressaltar que os desligamentos causados por vegetação são muito mais custosos pois, na maioria das vezes, existe a dificuldade em encontrar o local exato da falta o que acaba acarretando um tempo maior para o restabelecimento do ativo e consequentemente maior desconto na Receita Anual Permitida (RAP).

Objetivando reduzir o número de ocorrências e ter maior conhecimento a respeito da dinâmica de crescimento da vegetação sob as linhas de transmissão foi realizado um trabalho de monitoramento e gestão da vegetação a partir de imagens de satélite tri-estéreo de alta resolução com a empresa estrangeira Overstory em uma linha de transmissão de 500kV densamente vegetada. Este trabalho fez parte de um programa de inovação aberta da Copel e possibilitou a avaliação da ferramenta pelos especialistas de linhas de transmissão da empresa e subsidiou a celebração de um contrato para a prestação do serviço com imagens atualizadas anualmente.

Perguntas e Respostas

Os autores já implementaram a metodologia apresentada em outras linhas de transmissão? Quais os procedimentos que tem sido adotados a partir do levantamento dos dados em relação à disponibilização de equipes para atendimento dos casos identificados com maior risco? Os autores possuem indicadores de desempenho que comparem dados anteriores e posteriores à adoção da tecnologia?

Firmamos um contrato de 4 anos com a Overstory e estamos em fase de implantação em aproximadamente 4.000km de LTs. A ideia no primeiro ano, a partir das primeiras imagens é que se faça uma inspeção criteriosa nos pontos identificados como prioridade 1. Ainda não dispomos de dados de desempenho visto que o sistema ainda encontra-se em implantação na empresa.

Além de disponibilizar os dados no sistema mostrado no IT, como tem sido o tratamento dos dados obtidos quanto ao seu possível uso futuro? Na eventualidade desse serviço de monitoramento ser desempenhado por outra empresa, a base de dados legada é compartilhada? Há expectativa do uso desses dados para desenvolvimento de outros sistemas, como por exemplo sistemas de manutenção prescritiva?

Qual a periodicidade da obtenção das imagens para tratamento? Os dados são tratados para considerar e/ou prever riscos oriundos de condições de sobrecarga das linhas e que possam gerar riscos não mapeados inicialmente? Em nossa contratação prevemos a aquisição das imagens uma vez ao ano porém fica a critério do cliente. Como parte do processamento dos dados, consideramos parâmetros de vento e temperatura que caracterizem uma condição de operação mais crítica, de forma a se ter uma "gordura" para que as equipes de campo possam intervir nas áreas prioritárias.

Este monitoramento e gestão da vegetação está integrado com sistema supervisório?

A prova de conceito realizada também contemplou a identificação de árvores doentes que poderiam oferecer risco para a LT? Se sim, quais foram os resultados?

A metodologia apresentada permite estimar a progressão de crescimento da vegetação como subsídio ao planejamento das atividades de poda pelas equipes de manutenção?

Sim. A partir do conhecimento das espécies em questão identificadas pela IA será possível otimizar os processos de roçada baseado nas áreas e no tipo de vegetação.

Título - A experiência da CPFL Transmissão na recomposição de linhas de transmissão durante as enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul

Entidade(s) - COMPANHIA ESTADUAL DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Autor(es) - LEANDRO HENRIQUE BONA PUCHALE, Diogo Soliman Medeiros

Resumo

As enchentes de 2024 no Rio Grande do Sul representaram um dos maiores desafios climáticos já enfrentados pela CPFL Transmissão, impactando severamente o sistema de transmissão de energia. A empresa precisou agir rapidamente para restabelecer o serviço, enfrentando estruturas colapsadas, cabos submersos e deslizamentos de terra, que afetaram mais de 20 estruturas de linhas de transmissão.

Os desafios logísticos foram intensos devido ao bloqueio de estradas e a dificuldade no transporte de materiais e equipes. Para superar essas barreiras, a CPFL Transmissão utilizou helicópteros, drones e geotecnologia, reduzindo o tempo de resposta e permitindo decisões mais assertivas. Além disso, a existência de uma base de dados digital das linhas de transmissão (dado geoespacial com perfil altimétrico, modelo digital de terreno e modelo digital de superfície) obtida por levantamento laser (LiDAR) foi fundamental para agilizar o processo de substituição de torres danificadas.

Adicionalmente, a existência de um plano de contingência estruturado, garantindo a rápida mobilização de equipes e materiais sobressalentes, permitiram executar as recomposições de forma célere, com qualidade e segurança.

A experiência da CPFL Transmissão demonstrou a importância da preparação e da utilização de novas tecnologias na resposta a desastres climáticos extremos, os quais podem ser cada vez mais frequentes.

Perguntas e Respostas

Além das ações previamente tomadas, como descrito no IT, quais lições aprendidas durante o atendimento de recoposição foram incorporadas ao plano de contingência da CPFL?

Na opinião dos autores, quais ações devem ser tomadas para viabilizar um plano de contingência que envolva as demais empresas de transmissão?

Os autores podem detalhar como foi organizada a ação de recomposição das linhas afetadas? Foram criados grupos gestores individuais para cada atendimento ou foi implementada uma "sala de crises" única pra todo o

atendimento? Como foram envolvidos os agentes reguladores no andamento da contingência?

Como as ocorrências se deram de forma gradual, foi possível organizar ações específicas para cada situação. Na ocorrência de maior impacto, registrada no dia 30/04/2024 com o colapso da estrutura autoportante de circuito duplo 001 do ramal Candelária 2, foi acionado o Plano de Atendimento à Emergência (PAE) em Linhas de Transmissão. Na reunião do PAE, realizada imediatamente após as primeiras informações da contingência, foi estabelecido um organograma de atendimento com designação clara de responsáveis por cada macro atividades (coordenação geral, engenharia, projeto, execução, meio ambiente e logística). A partir disso, definiu-se a estratégia de atuação e os recursos necessários. O acompanhamento foi feito por meio de reuniões diárias entre as áreas envolvidas e com reporte direto aos gestores. Portanto, optou-se por estruturas de gestão individualizadas conforme a complexidade de cada ocorrência, e não por uma sala de crise única. O Operador Nacional do Sistema (ONS) foi comunicado diariamente sobre a situação do sistema de transmissão. Já a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi envolvida por meio da área regulatória da empresa, que apresentou um panorama detalhado da dimensão do evento. A ANEEL demonstrou sensibilidade diante da situação de calamidade pública no Rio Grande do Sul, reconhecendo a excepcionalidade e urgência do cenário. Com isso, decidiu flexibilizar temporariamente as Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica, isentando a aplicação da Parcela Variável por Indisponibilidade (PVI) até 31/08/2024, mediante apresentação de relatório técnico pela CPFL Transmissão ao ONS.

Qual foi a maior dificuldade que as equipes encontraram nesse período? Houve momentos em que essas equipes tomaram decisões fora dos protocolos normais?

A maior dificuldade enfrentada pelas equipes foi de natureza logística, principalmente devido aos danos causados pela enchente nos acessos principais, como rodovias e estradas, bem como em acessos secundários, como pequenos pontilhões. Essa situação comprometeu significativamente o deslocamento de pessoas, equipamentos e materiais até os locais de trabalho. Em alguns momentos foi necessário adotar decisões fora dos protocolos operacionais habituais, como a realização de atividades durante o período noturno e a continuidade dos trabalhos mesmo sob condições climáticas adversas. Um exemplo específico foi a necessidade de concluir a operação com o uso de guindaste na torre colapsada pela enchente - uma vez iniciada a atividade, não havia possibilidade de interrupção. Apesar dessas medidas excepcionais, é importante destacar que os indicadores de segurança foram excelentes, não sendo registrado nenhum acidente ou incidente de trabalho durante os trabalhos de recomposição, tanto com equipes próprias quanto com contratadas.

Quais foram os procedimentos adotados para configurar a operação temporária do "linhão" entre Campo Bom e Farroupilha? Houve necessidade de construção de variantes face ao risco iminente de colapso das torres?

Como alternativa operacional ao caso do risco de colapso das torres, a CPFL Transmissão propôs a alteração de configuração para viabilizar a operação dos circuitos Campo Bom – Farroupilha C1 e C2 em arranjo único, denominado “linhão”. Essa solução foi considerada a mais adequada naquele momento, tendo em vista a

inviabilidade técnica de construção de variantes e a desnecessidade de estruturas provisórias para a conexão. Com a aprovação do ONS, foi realizado o desligamento programado para implementação da alteração. O procedimento envolveu a interligação física dos circuitos Campo Bom – Farroupilha e a abertura de passagens no trecho das estruturas comprometidas, assegurando a continuidade da operação em condições mais seguras.

Título - Colapso de Estruturas Metálicas na CPFL Transmissão – uma Análise Estatística

Entidade(s) - COMPANHIA ESTADUAL DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Autor(es) - LEANDRO HENRIQUE BONA PUCHALE,Guilherme Rosa Balestrin,Marcelo Fank Fraga

Resumo

Nas últimas décadas, os efeitos das mudanças climáticas globais tornaram-se um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade. A intensificação de eventos climáticos extremos, como tempestades severas, vendavais e chuvas torrenciais, vêm afetando diversos setores econômicos e sociais, sendo a infraestrutura elétrica um dos mais vulneráveis. Linhas aéreas de transmissão de energia são particularmente suscetíveis aos impactos adversos desses eventos. A operação segura e eficiente dessas linhas é fundamental para garantir a continuidade no fornecimento de eletricidade; entretanto, a exposição crescente a condições meteorológicas adversas vem acarretando esforços adicionais sobre essas estruturas, resultando, em muitos casos, em falhas permanentes e colapsos catastróficos.

Este trabalho tem como objetivo realizar uma análise estatística detalhada dos colapsos de estruturas metálicas de linhas de transmissão (LTs) localizadas especificamente no Estado do Rio Grande do Sul, nas classes de tensão de 230 e 138 kV, causados por temporais intensificados ao longo das últimas décadas. A partir da compilação de dados históricos de ocorrências registradas nos últimos 47 anos de Operação e Manutenção (O&M) da CPFL Transmissão, busca-se identificar padrões relevantes e traçar correlações entre o aumento da frequência e intensidade dos fenômenos climáticos e a vulnerabilidade dessas estruturas. A análise também se propõe a quantificar os impactos de tais eventos sobre a infraestrutura elétrica, fornecendo subsídios técnicos que possam contribuir para o aprimoramento das práticas de projeto e manutenção, bem como para o desenvolvimento de estratégias para o enfrentamento e mitigação de riscos mais eficientes.

A análise dos colapsos de estruturas metálicas de linhas de transmissão (LTs) é particularmente relevante no contexto atual. Em face das mudanças climáticas, a previsibilidade de eventos climáticos extremos se torna uma tarefa cada vez mais complexa e desafiadora, criando a necessidade de novas abordagens para garantir a resiliência das infraestruturas críticas. No caso específico das linhas de transmissão de energia, a robustez das estruturas e a capacidade de adaptação do Sistema Elétrico são aspectos fundamentais para garantir a segurança energética e minimizar as interrupções no fornecimento de eletricidade. Diante disso, compreender os fatores que contribuem para a fragilidade dessas infraestruturas é um passo crucial para o desenvolvimento de soluções mais eficazes para os cenários futuros, a médio e longo prazo.

Perguntas e Respostas

Os autores mostraram em sua pesquisa um gráfico com tendência de incremento dos eventos de queda de torre ao longo dos anos. Imagina-se que, ao longo do mesmo período, a quantidade de estruturas construídas tenha sido incrementada. Os autores analisaram se a tendência de aumento se mantém se considerado o crescimento do número de torres?

Os autores identificaram a região, características das torres e épocas de maior incidência de quedas. Quais as ações tem sido tomadas a partir dos dados apresentados no sentido de otimização de atendimento ou reforço das estruturas nesses locais? Já puderam ser observados ganhos operacionais?

A CPFL adotou um conjunto de medidas estratégicas para mitigar os impactos das ocorrências e otimizar o atendimento. Entre elas, destacam-se:

- Realizado a aquisição de sistema de recomposição emergencial, com estruturas de emergência que permitem restabelecer o serviço de forma mais ágil.
- Estabelecido um Plano de Atendimento à Emergência em Linhas de Transmissão, com diretrizes e responsabilidades claras de cada área envolvida.
- Realizado treinamentos frequente das equipes envolvidas.
- Incluído cláusulas que possibilite que contratos vigentes com empresas terceirizadas possam ser utilizados para atendimentos emergenciais.
- Revisão frequente do critério de sobressalentes de torres metálicas e demais materiais, garantindo a disponibilidade de peças e componentes essenciais.
- Atualmente está em desenvolvimento um projeto de torre estaiada para a recomposição de colapso de torres autoportantes de forma definitiva, isto é, sem a necessidade de variantes provisórias.
- Em fase de contratação de empresa especializada para realizar estudo de reforço de torres específicas.

Os principais ganhos que podem ser observados são:

- Melhoria na organização da recomposição, devido a um planejamento mais estruturado em que as diferentes áreas envolvidas trabalham com mais sinergia;
- Maior agilidade e segurança aos trabalhadores envolvidos nas atividades. Recomposições sem registros de acidentes.
- Definição de estratégias assertivas que refletem a melhor alternativa para a recomposição.

A CPFL está verificando possibilidade de critérios diferenciados em seus projetos com base nessa análise ?

Sim. Para as linhas de transmissão existentes, a CPFL está desenvolvendo estudos de reforço estrutural em torres específicas, priorizando aquelas localizadas em áreas mais suscetíveis ou com histórico de colapso, com o objetivo de aumentar a resiliência frente a eventos climáticos extremos. Nos novos projetos, os critérios de projeto já consideram velocidades de vento compatíveis com normas técnicas mais atuais, alinhadas às tendências de intensificação dos fenômenos meteorológicos.

Embora o Brasil tenha se deparado com a dramática situação das enchentes de 2024 no RS, outros períodos tiveram as ocorrências com colapsos de mais de

10 estruturas. Quais teriam sido as evidências que definiram os períodos mais destrutivos para as LTs em comparação com os eventos de 2024?

É possível estabelecer uma correlação de colapsos de estruturas provocados pela ação destrutiva de ventos sinóticos e não sinóticos?

A maioria dos eventos recentes está associada a fenômenos climáticos de alta intensidade, porém com atuação localizada e potencial destrutivo elevado. Diante dessas características, entendemos que se tratam de ventos não sinóticos, ou seja, não relacionados a sistemas meteorológicos amplos, mas sim a eventos isolados, como microexplosões ou tempestades convectivas.

Título - Caracterização de faltas em linhas de transmissão com dados do INMET e ERA5

Entidade(s) - ENERGY CODE INOVA SIMPLES (I.S.), UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA

Autor(es) - DEIVID SOUZA MARINS, Ana Carolina Cardoso Pereira, Herberth de Castro Luchione, Fernando Luiz Marcelo Antunes

Resumo

Este artigo avalia a integração das bases de dados observados de estações meteorológicas do INMET e dados de reanálise numérica ERA5 para análise de desligamentos forçados em linhas de transmissão de 230 kV. O estudo focou em 11 eventos ocorridos na região Norte do Brasil, utilizando mapas de calor para comparar padrões de vento nas horas anterior, durante e posterior aos desligamentos.

Perguntas e Respostas

Foi apresentada pelos autores variação significativa (acima de 1000%) na velocidade de vento de uma mesma fonte. Os autores investigaram se variações tão intensas são, de fato, variações relacionados a eventos climáticos ou eventualmente oriundas das correções matemáticas aplicadas ao dados? Qual a ordem de grandeza dessas variações?

Em nosso estudo, observamos de fato um aumento extremo de 1228% na velocidade do vento registrado pelos dados de reanálise ERA5 durante um evento de desligamento na linha DI-GU, em 04/12/2023. Investigamos a fundo esse comportamento por meio de mapas de calor temporais e espaciais, que mostraram uma evolução atmosférica coerente com fenômenos de mesoescala, como possíveis rajadas associadas a tempestades ou sistemas convectivos. A ordem de grandeza dessas variações nos dados do ERA5 chegou a +1228% pois, na hora anterior, os valores de velocidade de vento eram praticamente nulos (0,4/ms) e, durante evento, passou a 5,31 m/s. Nesse mesmo evento, no INMET registrou-se: 1,5 m/s (1h antes) e 2,5 m/s (durante evento), trazendo uma variação de 67%.

É possível afirmar que outros eventos climáticos, como por exemplo descargas atmosféricas, não influenciaram nos referidos desligamentos e que estes tiveram causa única os ventos, como mencionado no IT?

Em nosso estudo, focamos especificamente na análise de ventos como variável principal para caracterização dos desligamentos, uma vez que o objetivo era testar a viabilidade da integração INMET-ERA5 para esse fim. Reconhecemos que outros fatores, como descargas atmosféricas, queimadas ou chuvas fortes também podem

causar desligamentos, conforme mencionado na introdução do artigo. No entanto, para os eventos analisados, não tivemos acesso a dados detalhados de descargas ou outros sensores que permitissem uma análise multicritério. Portanto, não podemos afirmar com certeza absoluta que o vento foi a causa única, mas sim que foi o fator predominante identificável pelos dados utilizados. Em nenhum momento o artigo pretende excluir outras causas possíveis, mas sim demonstrar que o vento, sozinho, já apresenta correlação significativa e pode ser melhor caracterizado com a metodologia proposta.

Os autores investigaram mais detalhadamente, além das velocidades de vento, outros aspectos que possam ter contribuído para os desligamentos, como transitórios, padrões construtivos, aterramento ou outros?

A metodologia já foi apresentada à apreciação do ONS? Há algum caso concreto já apreciado? Caso ainda não tenha sido apresentada, há expectativa favorável para sua aceitação?

A metodologia ainda não foi formalmente apresentada ao ONS. No entanto, o estudo foi desenvolvido com o claro intuito de subsidiar futuros processos de análise de causa de desligamentos, especialmente em regiões com pouca cobertura de estações meteorológicas. Temos expectativas muito favoráveis quanto à potencial aceitação da metodologia, uma vez que ela preenche uma lacuna importante na caracterização de eventos climáticos em áreas remotas e oferece uma base técnica robusta para discussões sobre a aplicação de penalidades. A base de dados ERA5 hoje é utilizada para preenchimento de falhas nas estações do INMET durante previsão de geração de parques eólicos (metodologia já consolidada).

Os autores poderiam aprofundar as considerações sobre admitir que a amostragem de 11 casos é suficiente para configurar uma eficácia de mais de 90% para a metodologia proposta?

Os autores poderiam aprofundar as considerações sobre admitir que a amostragem de 11 casos é suficiente para configurar uma eficácia de mais de 90% para a metodologia proposta?

Título - Deslizamento de Encostas em LTs - A experiência da Eletrobras CGT Eletrosul frente às chuvas no RS em 2024

Entidade(s) - Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil - Eletrobras CGT Eletrosul

Autor(es) - André Luís Padovan

Resumo

Grandes volumes de chuva em períodos curtos de tempo causam encharcamento do solo que, em regiões de grandes declividades, como regiões serranas, provocam deslocamentos de terra de grandes proporções. Especificamente em Linhas de Transmissão (LTs), os deslocamentos (ou deslizamentos) de solo podem provocar sérios danos, como avalanches de terra se chocando contra as estruturas, grandes erosões próximas às fundações ou mesmo a

movimentação do solo na área da torre, causando deslocamento e, consequentemente, deformação da estrutura.

Diferentemente das quedas ou danos em torres causados por ventos de grande intensidade (causa mais frequente), os casos provocados por deslizamentos possuem um grau de complexidade maior, envolvendo locação de novas estruturas em novos locais, diferentes dos ideais quando se analisa os vãos adjacentes. Também causam preocupações quanto às estratégias de recuperação, pois dificilmente se consegue utilizar torres de emergência em regiões serranas. Assim, temos um tempo de recuperação maior, ultrapassando as franquias e gerando custos com Parcela Variável.

Outro aspecto a ser considerado é o dimensionamento de torres reservas, pois os deslizamentos podem ocorrer com qualquer tipo de torre, como exemplo torres de ancoragem, que dificilmente são avariadas por ventos extremos.

Este trabalho aborda as questões levantadas através da experiência da Eletrobras CGT Eletrosul em 8 casos ocasionados pelas chuvas intensas na região serrana do RS em 2024. A análise contempla desde situações de pequenas deformações até o comprometimento total da estrutura e região instalada, demonstrando cada situação encontrada, os estudos de definição de solução e a aplicação na prática.

Perguntas e Respostas

O autor destacou no IT várias situações de deslizamento de encostas. Destes casos apresentados, houve ocorrência em estruturas que já haviam sido mapeadas como críticas? O autor pode detalhar melhor os critérios adotados para mapeamento de locais com maior probabilidade de ocorrência de deslizamento e, por consequência, permitindo otimização dos recursos?

Regiões serranas / montanhosas possuem uma maior facilidade para a ocorrência de casos de deslizamentos. Especialmente no sul do Brasil, estes locais também possuem índices pluviométricos altos e histórico de deslizamentos de solo. Desta forma, são regiões onde é necessário um maior cuidado e preparação.

A CGT Eletrosul já possui um tratamento específico para regiões com alta probabilidade de eventos extremos, contando com Plano de Contingência atualizado anualmente, estoque reserva de torres em locais estratégicos e equipes de manutenção próximas. Além disso, a empresa possui equipe de engenharia de manutenção, equipe de logística e de contratação com grande experiência,

Em 2019, foi concluído um estudo que envolveu a CGT Eletrosul, MMA, governo do estado de SC e outros parceiros, mapeando possíveis impactos das mudanças climáticas em infraestrutura. Deste trabalho, temos uma análise que considerou:

- vulnerabilidade das estruturas e fundações;
- índice pluviométrico;
- relevo;
- tipo de solo
- Ventos extremos e outros.

Com isso, gerou-se um mapa com as áreas mais suscetíveis à quedas de torre por deslizamento, facilitando a otimização dos recursos.

Diante da experiência apresentada, quais as ações que tem sido tomadas, além daquelas apresentadas no IT, para atendimento mais rápido em casos semelhantes?

Face à ocorrência de inúmeros impactos causados pelas chuvas intensas em poucos dias, como foi o planejamento para atender a todos os casos de forma concomitante?

Primeiramente, foi realizada visita técnica da Engenharia de Manutenção em todos os locais identificados pelas equipes de inspeção de campo, avaliando a situação de cada local e algumas possíveis soluções.

De posse destes dados, elaborou-se uma lista com as prioridades, visto que não havia condição (logística e de material) para atender todos em paralelo.

Esta lista levou em consideração a condição da estrutura, condição do solo, impacto sistêmico da Linha de Transmissão, RAP da LT, necessidade de aquisições de torres e ferragens, entre outros.

Nas situações relatadas no IT, vislumbrou-se a possibilidade de uso de helicóptero para deslocamento de equipes e materiais ou as condições climáticas não permitiram essa opção?

Qual dos oito casos foi o mais desafiador? Durante esse período houve momentos em que essas equipes tomaram decisões fora dos protocolos normais?

O mais desafiador foi o caso da LT 525 kV Caxias / Itá - torre 484.

Não entendi exatamente o que seriam esses "protocolos normais". O que posso dizer é que cada emergência com queda de torres de LTs possui sua característica, sendo necessário adaptações nos procedimentos de desmontagem, montagem e içamento, de acordo com a situação encontrada, condição dos acessos, disponibilidade de material reserva, disponibilidade de máquinas pesadas (como guindastes, retroescavadeiras, tratores de esteira e outros).

Título - Impacto das Mudanças Climáticas nas Fundações de Torres de Transmissão de Energia: Análise do Aumento das Velocidades de Vento

Entidade(s) - BLISS ADVANCE TECNOLOGIA E CONSTRUÇÕES LTDA, TAS SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA

Autor(es) - Wesley Candido da Silva, Rudson Negrão Fonseca, ALEXANDRE CORRÊA DE AZEVEDO, Luiz Eduardo Barbosa Junior, Rafael da Costa Sampa

Resumo

As mudanças climáticas têm intensificado as velocidades de vento, impactando o projeto estrutural das fundações de torres de transmissão de energia. Este estudo compara o dimensionamento atual de uma fundação de torre com um novo cálculo que incorpora cargas de vento aumentadas, baseadas em projeções climáticas do IPCC. A metodologia envolve a análise de uma torre típica (aço, 50 m de altura,

fundação em sapata), modelagem de cargas de vento conforme a ABNT NBR 6123 e recalculo com velocidades 20% superiores. Resultados mostram que as fundações atuais são insuficientes para cenários futuros, exigindo maior profundidade (de 2 m para 2,5 m), aumento de 30% no volume de concreto e 40% na armadura de aço. Esses ajustes elevam custos em cerca de 25%, desafiando a sustentabilidade dos projetos. Conclui-se que a atualização das normas, como a ABNT NBR 6123, é essencial para integrar condições climáticas extremas desde a concepção, garantindo a resiliência do sistema de transmissão.

Perguntas e Respostas

Diante do cenário de projeção cimatológica apresentada, os autores também analisaram o impacto em instalações legadas? Quais as ações são necessárias para adequação das instalações já existentes e como isso deve ser tratado no âmbito regulatório?

A projeção climatológica utilizada no estudo contempla qual horizonte? Os autores entendem que há risco imediato do atingimento da projeção em curto prazo (ex. próximos 5 anos)? Como o setor pode se preparar para esse cenário? O estudo utilizou projeções climatológicas até 2050. As projeções foram baseadas nos cenários do IPCC (como os cenários SSP) e em estudos específicos para o Brasil, como o relatório "Mudança do Clima no Brasil" do MCTI (2024). Há evidências de que o aumento na velocidade dos ventos já está ocorrendo e pode se intensificar nos próximos 5 anos. O estudo da Climate Central citado no artigo demonstrou que as mudanças climáticas já aumentaram significativamente a velocidade máxima dos ventos em eventos extremos recentes. O setor pode se preparar através de atualização normativa, análise de vulnerabilidade de torres existentes, projeto adaptativo para novas linhas, monitoramento, entre outros.

Considerando que as cargas transmitidas às torres de transmissão pela ação do vento são calculadas segundo a norma ABNT NBR 5422:2024 ou IEC 60826, levando em conta, inclusive, ventos de alta intensidade, as conclusões expostas no IT valeriam para esse contexto?

Sim, as conclusões do artigo continuam válidas mesmo considerando que as cargas de vento são calculadas segundo essas normas específicas para linhas de transmissão. Embora a NBR 5422:2024 e a IEC 60826 sejam específicas para linhas de transmissão, elas compartilham princípios fundamentais com a NBR 6123 no que diz respeito à caracterização das cargas de vento. Mesmo que essas normas já considerem ventos de alta intensidade em seus cálculos, elas se baseiam em dados históricos e períodos de retorno específicos. O ponto central do artigo é que as mudanças climáticas estão alterando a própria distribuição estatística dos eventos extremos, tornando mais frequentes e intensos os ventos que antes seriam considerados raros. Isso significa que os períodos de retorno estão se reduzindo para eventos de mesma magnitude. Contudo, o que poderia variar entre as diferentes normas seriam os valores absolutos das cargas calculadas e, conseqüentemente, as dimensões específicas das fundações. No entanto, a tendência de aumento significativo nas dimensões e no consumo de materiais devido ao incremento na velocidade dos ventos permaneceria consistente, assim como as implicações para custos, segurança estrutural e sustentabilidade discutidas no artigo.

Tendo em vista a ação localizada de ventos de alta intensidade em uma linha de transmissão, por vezes com quedas de torres, como os autores avaliam a aplicação generalizada do redimensionamento das fundações? Seria possível um critério ajustado a custo-benefício sem onerar a LT de forma generalizada?

Realizar um mapeamento das zonas de maior risco ao longo da linha de transmissão, considerando: Topografia local (áreas de aceleração do vento como topos de morros, vales encaixados); histórico de eventos extremos na região; dados microclimáticos específicos; exposição da torre (torres em áreas abertas vs. áreas protegidas). Também é válido adotar períodos de retorno e fatores de segurança variáveis de acordo com a criticidade do trecho da linha. Priorizar o redimensionamento ou reforço apenas para Torres em zonas identificadas como de alto risco; torres com histórico de problemas estruturais; torres em pontos críticos da linha (travessias, mudanças de direção) e torres com fundações em solos mais suscetíveis a instabilidades.

4.0 – Constatações